الفصل الرابع

ترشيح المياه Filtration

الترشيح عملية تعتمد على فصل سائل عن الجسيمات المعلقة الموجودة فيه بحجز هذه الجسيمات على دعامة مسامية أو ضمن سرير مادة حبيبية.

بهذا المعنى التصفية الميكرونية هي نموذج للترشيح على دعامة، وكذلك تقانات النرشيح الدقيق Microfiltration والترشيح فائق الدقة Ultrafiltration و الترشيح النانومتري Nanofiltration والتناضح العكسي Reverse Osmosis التي تعتمد على أغشية ذوات مسامية دقيقة جداً.

بيد أن الترشيح الذي يعتمد على سرير من حبيبات الرمل (الترشيح الرملي) هو الأكثر شيوعاً في معالجة المياه المعدة للاستهلاك البشري.

تعد إزالة المواد العالقة من مياه الشرب ضرورية لحماية الصحة العامة من ناحية ولمنع حدوث مشاكل تشغيلية في شبكة التوزيع من ناحية أخرى. فقد تعمل هذه المواد على حماية البكتريا و الأحياء الدقيقة من أثر المادة المطهرة، كما أنها قد تتفاعل كيمائياً مع المادة المطهرة مما يقلل من نسبة فاعليتها على الأحياء الدقيقة، وقد تترسب المواد العالقة في بعض أجزاء شبكة التوزيع ويترافق ذلك مع نمو البكتريا وتغير رائحة المياه وطعمها ولونها.

يمكن إنجاز الترشيح لماء خام بدون إخضاعه لمعالجة مسبقة، هذا هو الترشيح المباشر أو الترشيح الرملي البطيء Slow sand filter. لكن غالباً مايُسبق الترشيح بمعالجة بالتخثير وتشكيل الندف والترسيب وهذا ضروري في حالة اعتماد المرشح الرملي السريع filter Rapid sand. نتيجة لمرور الماء خلال طبقات المرشح الرملي يتعرض الماء لعدة تغيرات إضافة لحجز كامل المواد المعلقة والغروانية وإنقاص إعداد البكتريا وإزالة اللون أحياناً كما قد تتغير بعض الخواص الكيميائية للماء.

٤ . ١ . نظرية الترشيح Theory of filtration

يوجد عدة نظريات وتفسيرات لحصول التغيرات في خواص الماء نتيجة لترشيحه خلال طبقة مسامية وأهم الظواهر المؤثرة في عملية الترشيح:

www.islamsc.com

أ . التصفية الميكانيكية Mechanical straining

تتشكل بين حبيبات رمل سرير الترشيح مسامات تعمل كمصفاة دقيقة الفتحات تحجز المواد العالقة التي أبعادها أكبر من هذه المسامات.

أما احتجاز المواد الغروانية والبكتريا التي أبعادها أصغر من هذه المسامات فسببه ظواهر أخرى أهمها:

ب . الترسيب Sedimentation

تعمل المسام بين حبيبات الرمل كأحواض ترسيب متناهية في الصغر تتوضع فيها مواد معلقة أبعادها أقل من أبعاد المسامات بين الحبيبات.

ج . التصاق المواد الغروانيات بحبيبات الرمل Adherence of colloids to sand grains

تؤدي عدة قوى كالثقالة والعطالة والإنتشار وقوى الاضطراب إلى نقل الجسيمات الغروانية إلى جوار حبيبات الرمل ومن ثم يلتصق بعضها بحبيبات الرمل بسبب الالتواء في المسام المتشكلة بين الحبيبات. وبالإستمرار في عملية الترشيح تزداد المواد التي يحجزها المرشح في مسامه مما يسبب ضيقاً لهذه المسام وبالتالي زيادة محسوسة في كفاءة إزالة المرشح.

د . الفعل الكهربائي Electrical action

تحمل حبيبات الرمل النظيف بشكل عام شحنة كهربائية سالبة فإذا وجد في الماء ملوثات تحمل شحنة معاكسة فإنها تنجذب إلى حبات الرمل وتزال من الماء.

هـ . الفعل البيولوجي Biological action

مع تقدم عملية الترشيح الرملي للماء تنمو كائنات حية مجهرية ضمن طبقة الترشيح المسامية وعلى سطح هذه الطبقة مستفيدة من المغذيات الموجودة في الماء من أملاح ومواد عضوية وأكسجين منحل وبالتالي تستهلك هذه المغذيات وتزال من الماء وتتحول إلى عضويات حية تتوضع ضمن طبقة الترشيح.

إن تأثير الفعل البيولوجي يتبع لفترة الترشيح المستمر، فهو واضح في المرشحات الرملية البطيئة أكثر من تلك السريعة بسبب طول فترة الترشيح التي تساهم في تشكيل الطبقة الحيوية على سطح الرمل.

٤ . ٢ . أنواع المرشحات type of filter

تصنف المرشحات المستخدمة في معالجة المياه إلى عدة أنواع تبعاً لعدة خصائص يوضحها الجدول (٤-١).

www.islamsc.com

الجدول (٤-١): تصنيف المرشحات المستخدمة في معالجة المياه.

الخاصية	نوع المرشحات
نظام مرور المياه	مفتوحة فيها جريان المياه تحت تأثير الثقالة الأرضية. مضغوطة تحت تأثير ضغط أعلى من الضغط الجوي.
نوعية الوسط الحبيبي	الرملية، فحم الانتراسيت، ..
معدل جريان الماء (التحميل السطحي)	سريعة حيث معدلات الجريان عالية من ١٢٠ إلى ١٨٠م/اليوم. بطيئة حيث معدلات الجريان منخفضة أقل من ٧.٥م/اليوم.
عدد وسائط المرشح	أحادية الوسط (طبقة واحدة من الرمل). ثنائية الوسط (طبقتين ترشيح، السفلى منهما ذات حبيبات صغيرة المقاس كالرمل، والعليا ذات حبيبات كبيرة لكن خفيفة كفحم الانتراسيت. متعددة الوسائط (ثلاث طبقات أو أكثر تتدرج حبيباتها مقاساً ووزناً حيث يزداد المقاس ويقل الوزن من أسفل المرشح إلى أعلاه).
إتجاه جريان المياه	هابطة حيث يتدفق الماء من أعلى المرشح إلى أسفله. صاعدة حيث يتدفق الماء من أسفل المرشح إلى أعلاه.
عمق وسط الترشيح	عميقة حيث سمك طبقة الترشيح أعلى من ٧٠ سم. سطحية حيث سمك طبقة الترشيح أقل من ٧٠ سم.

ومن الجدول السابق نميز أهم ثلاثة أنواع للمرشحات الكتلية وهي المرشحات الرملية البطيئة، والمرشحات الرملية السريعة، والمرشحات المضغوطة.

www.islamsc.com

في أنظمة معالجة المياه فان الترشيح الكتلي يستخدم لإزالة أغلب الجسيمات في السائل المعلق التي يمكن أن يكون مصدرها (رواسب , مروبات).

يتميز المرشح الكتلي بما يلي:

- أقطار حبيباته: بين ٠.٣ و ٢.٥ مم وفقا لأهداف المعالجة، و أكثر الحبيبات المستخدمة أقطارها من ٠.٥ إلى ١.٣٥ مم.
- الارتفاع : لأجل كل نوع من الحبيبات يوجد ارتفاع مثالي يعطي الترشيح الأفضل تحت ضياع حمولة أصغري، و أغلب السماكات المستخدمة هي بين ٠.٦ إلى 1.2 متر.

و تعتمد سرعة الترشيح الرملي على العوامل التالية:

- طبيعة الجسيمات المطلوب إزالتها.
- تركيز الجسيمات المطلوب إزالتها.
- دقة الترشيح و ضياع الحمولة المقبول.
- نوعية و كفاءة الترشيح.

وبذلك فان سرعات الترشيح تتنوع ضمن مجال كبير (4-70) م^3/سا.

إن عملية غسيل المرشح الرملي هامة جداً بحيث يجب أن يتم تنظيف سرير المرشح من الملوثات التي تم حجزها في السرير.

www.islamsc.com

وانه من الضروري القيام بعملية الغسيل حالما يصل ضياع الحمولة للمرشح إلى الحد الاعظمي المسموح (من 0.4 -0.5 بار)، و إلا فانه سيحدث ما يلي:

- تناقص معدل التدفق للسائل المرشح.
- إجهاد أو تشقق السرير مما يؤدي إلى تخلل الملوثات عبر السرير.
- عدم القدرة في تنظيف المرشح بشكل كامل من الملوثات.

يمكن القيام بعملية الغسيل وفق طريقتين :

– الغسيل بوضع السرير في حالة معلقة بالماء فقط ومن الضروري تأمين معدل تدفق عالي يكفي لتعليق السرير و تمدده (حجم أصغري + ١٥% من الحجم الظاهري) وانه و بشكل خاص عندما تكون الحبيبات أقوى فان معدل تدفق الغسيل يكون اكبر و يتراوح من ٢٥ إلى ٩٠ م^{٣}/ سا خلال ٥ إلى ١٠ دقائق.

– الغسيل بالماء و الهواء معاً و هذا النظام أكثر اقتصادية بالنسبة للماء و يعطي أهمية لعملية احتكاك الحبيبات أكثر من التمدد.

بالنسبة لمرشح رملي فان معدل تدفق الماء يكون حوالي $15m^3/h$ (تدفق الهواء ب Nm^3/h) تحت ضغط أعظمي ٠.٢ بار.

أخيرا فانه يمكن أن نعرف سعة الاحتفاظ للمرشح من خلال كمية المواد الصلبة التي تحتفظ في السطح ب m^2 و يقدر عموما بين 1 إلى $2\ kg/m^2$.

فمثلا من اجل مياه خام حاوية $20\ mg/L$ من المواد الصلبة المعلقة فان حجم الماء المعالج بين غسيلين يكون حوالي 50 إلى $100\ m^3$ للمتر المربع من سطح الترشيح.

www.islamsc.com

٤ . ٣ . العوامل المؤثرة على عملة الترشيح

لإنجاز تصميم جيد لأحواض الترشيح و لتحديد مواصفات الترشيح قد يلجأ إلى مرشحات مخبرية.
ويتكون المرشح المخبري من وعاء أسطواني مصنوع من البلاستيك الشفاف ارتفاعه ٢-٤ متر وقطره الداخلي 0.1 - 0.4 متر مزود على ارتفاعه بعدد من السكورة لأخذ عينات من الماء وقياس الضغط في مختلف النقاط، كما في الشكل (٤-١) . يحوي هذا المرشح المادة المرشحة لعمق محدود مستندة على صفيحة مثقبة أو مسامية تعمل كقاع للمرشح.

www.islamsc.com

الشكل (٤-١): المكونات الأساسية للمرشح المخبري.

يسمح المرشح التجريبي بدراسة:
- تدفق الماء خلال السرير الرملي المسامي و التحقق من قانون دارسي بالإضافة إلى تحديد ثوابت سرير الترشيح.
- نفاذية المرشح و لأجل ذلك و لنفس الارتفاع من الماء في العمود حيث يتم ضبط التدفق (تثبيته) عندها يلاحظ ضياع الحمولة في السرير الرملي و ترسم المنحنيات التي قواعد ربطها:

$$\Delta p = f(Q) \quad , \quad \Delta p = f(z)$$

- دراسة ضياع الحمولة على مدى ارتفاع طبقة الترشيح لأجل معدل تدفق معين و رسم منحني $\Delta p = f(z)$
- دراسة كفاءة الغسيل في وضع التيار العكسي.

تعريفات لتعابير وصيغ متداولة في الترشيح :

المسامية : وهي نسبة حجم الفراغات الموجودة بين حبيبات السرير المسامي إلى الحجم الظاهري لهذا السرير.

$$\varepsilon = \frac{V\ empty}{V\ apparent} \qquad : \quad 0 < \varepsilon < 1$$

المساحة النوعية للجسيمة : و هي نسبة سطح الحبيبة التي في تماس مع الماء إلى حجمها

$$a_g = A_g / V_g$$

ولأجل الحبيبات الكروية

$$a_g = \pi\, d_g^2 / (\pi\, d_g^3 / 6)$$

$$a_g = 6/d_g$$

حيث d_g قطر الحسيمة.

المساحة النوعية لطبقة الترشيح :

المساحة النوعية هي نسبة السطح الكلي للمسامات التي في تماس مع السائل المتدفق إلى الحجم الظاهري للسرير الرملي

$$a_c = A_p / V_a$$

ولأجل السرير المسامي المكون من حبيبات

$$a_c = \frac{A_g\,(1-\varepsilon)}{V_g}$$

$$a_c = a_g\,(1-\varepsilon)$$

معدلات التدفق للسائل المعلق : نستخدم رقم رينولدس ضمن المسامات لتحديد معدلات التدفق

$$Re_p = \rho . U_m / a_c . \eta \qquad \eta = \rho . \upsilon$$

حيث

A_c: المساحة النوعية لطبقة الترشيح.

ρ: الكتلة الحجمية للسائل.

www.islamsc.com

U_m: السرعة في العمود الفارغ (معدل الترشيح).

η : لزوجة السائل المطلقة و واحدتها Pa.s .

Y :اللزوجة الحركية للماء و واحدتها m^2/s.

و عندما

Re <1 التدفق يكون صفحي

1<Re <10 التدفق في مرحلة انتقالية

Re >10 التدفق مضطرب

قانون دارسي : عندما يكون التدفق صفحي فان قانون دارسي يمكن استخدامه لتحديد هبوط الضغط تبعاً لعمق السرير كما يلي:

$$\Delta p = \eta . U_m . z / \beta$$

$$U_m = Q_v / S$$

z: عمق السرير المسامي

B: نفاذية السرير المسامي

Δp: ضياع الحمولة نتيجة مرور السائل

قانون كوزني : إن ضياع الحمولة لواحدة الطول من السرير المسامي كان موضوع النموذج الرياضي المطور من قبل كوزني الذي اخذ بالاعتبار فيه مسامية السرير المسامي:

$$\Delta p = h_k . a_c . \eta . U_m . z / \varepsilon^3$$

$$a_c = a_g . (1- \varepsilon)$$

$$\Delta p = a_g^2 . (1- \varepsilon)^2 . \eta . U_m . z . h_k / \varepsilon^3$$

h_k : ثابت بدون أبعاد يأخذ بالاعتبار شكل المسامات و لأجل مسامية اقل من 0.6 فان h_k يكون بين 3.5 و 5.5 وعندما يكون الانسداد آخذا شكل Rasching فانه يمكن أن يأخذ قيم اكبر من 10.

www.islamsc.com

بمساواة بين القانونين (دارسي و كوزني) يمكن أن نستنتج النفاذية

$$\beta = \frac{\varepsilon^3}{h_k . a_c^2}$$

حالة التدفق المضطرب : عندما يكون التدفق مضطرب فإننا نستخدم قانون دارسي لحساب هبوط الضغط لواحدة الطول من السرير

$$\frac{\Delta p}{Z} = \frac{h_k . a_c^2 . \eta \, U_m}{\varepsilon^3} + \frac{h_b \, a_c . \rho . U_m^2}{\varepsilon^3}$$

h_b تابت Burke و Plummer

يمكن أخذ القيم التالية للثوابت $h_b=0.29$ و $h_k=4.16$

تجرى التجارب المخبرية بمعدلات ترشيحمختلفة أو باعماق مختلفة للمياه أو بسماكات مختلفة لطبقة الترشيح وحتى بحبيبات رملية مختلفة الأبعاد ، أثناء هذه التجارب تسجل ضغوط الماء وتؤخذ عينات من مختلف الأعماق وتحلل لتعيين تركيز المواد الصلبة المعلقة والعكارةوأية مؤشرات أخرى قد تتأثر بالترشيح. نلاحظ من التجارب أن نوعية المياه المرشحة سوف تتحسن كلما مرت هذه المياه على طبقات ترشيح أعمق. وباستمرار العملية قد تتوغل الشوائب إلى أعماق أكبر في المرشح مثرة بذلك على نوعية وجودة المياه المرشحة. ويحدد زمن الترشيح قبل التوقف لانجاز الغسيل الارتدادي تبعاً للنوعية المطلوبة للمياه أو تبعاً لضياع الحمولة المسموح ضمن المرشح.

٤ . ٤ . المرشح الرملي البطيء Slow sand filter

www.islamsc.com

كان الترشيح الرملي البطيء هو أول طريقة معالجة استخدمتها مدن كثيرة خلال القرن التاسع عشر ويمكن لهذه المرشحات أن تزيل بفعالية جيدة الكائنات الدقيقة التي تسبب الأمراض التي تحملها المياه ومن بينها أحاديات الخلايا مثل الجيارديات والكريبتوسبوريديوم فضلاً عن البكتيريا والفيروسات.

إن الظواهر البيولوجية مهمة كثيراً في عملية الترشيح الرملي البطيء التي تعتمد على حبيبات رمل ناعمة أبعادها من ٠.٢٥ إلى ٠.٣٥ ملم مشكلة سرير بسماكة من ٠.٨ إلى ١.٢ متر. وينمو على سطح السرير الرملي غشاء بيولوجي ذو مسامية ضعيفة بحيث تنخفض سرعة الترشيح إلى حوالي ٣.٥ . ٧.٥ م٣/م٢ . اليوم.

يمكن اعتبار الترشيح الرملي البطيء كمعالجة بيولوجية تعتمد على الغشاء البيولوجي المكون من طحالب وأحياء دقيقة أخرى هوائية. لهذا عند بدء تشغيل المرشح البطيء ينبغي طرح الماء المرشح إلى المجاري العامة ولمدة عدة أيام حتى يتشكل الغشاء البيولوجي. بعد ذلك تدخل الأحياء الدقيقة بالتأثير في تحليل المواد العضوية الموجودة في الماء. لا تُزال المواد الدبالية ضعيفة القابلية للتحلل البيولوجي إلا جزئياً. أما فيما يخص ا لبكتريا المعوية فالترشيح البطيء يزيلها بكفاءة (٩٥% وأكثر).

وبعد تكرار الاستخدام، يبدأ أنسطام حوض الرمل بكميات كبيرة من البكتيريا والطحالب وأحاديات الخلايا والدوارات المجهرية المائية ومجذافيات الأرجل والديدان المائية وتساعد هذه الكائنات الدقيقة عملية الترشيح بإزالتها للملوثات على الرغم من أنها قد تبطأ عملية الترشيح.

يسبب إنسطام المرشح البطيء انخفاض تدريجي للتدفق الراشح، لذلك بعد فترة ترشيح بطيء بين شهر أو عدة أشهر ينبغي إيقاف الترشيح وإزالة عدة سنتمترات من الرمل السطحي في السرير، ثم تبدأ دورة ترشيح جديدة بمرحلة إنضاج للغشاء البيولوجي ثم مرحلة ترشيح بكل معنى الكلمة وأخيراً إيقاف الترشيح وإزالة سماكة عدة سنتمترات من الرمل وهكذا دواليك.

٤ . ٤ . ١ . العقبات التي تحد من استخدام الترشيح البطيء:

إن المسامية الضعيفة جداً للغشاء البيولوجي تجعل المرشح حساس جداً لكل وصول واضح لمواد معلقة تسطم المرشح تماماً خلال عدة ساعات، عملياً تركيزات المواد المعلقة ينبغي أن لا تتجاوز ٥٠ ملغ/لتر، فإذا كانت المياه الخام محملة كثيراً بالمواد العالقة فيلزم استخدام منشآت ترسيب مسبق وترشيح مسبق يرفعان من الكلفة الإقتصادية لمعالجة مثل هذا الماء الخام.

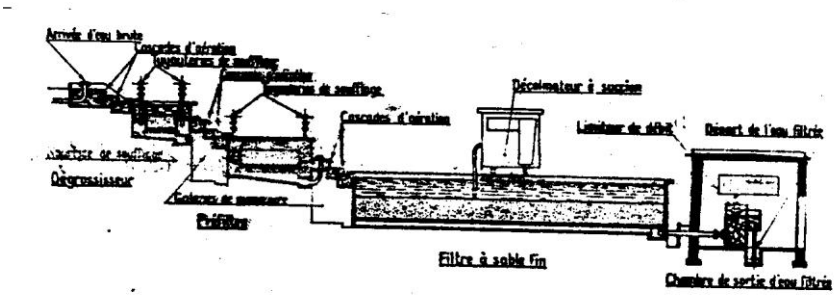
www.lasc.com

بما أن المعالجة تتم بفعل الوسط الحيوي فينبغي أن يكون الوسط الحيوي ملائم للتلوثات الموجودة في الماء كما ينبغي أن لا يتغير تركيب التلوثات بكثرة ولا فجائياً. إن زيادة التحميل السطحي للترشيح قد تتسبب في تشقق سطح الطبقة البيولوجية المعول عليها في الترشيح البطيء ونتيجة لهذا التشقق تمر المياه إلى داخل طبقة الرمل ومن ثم إلى خارج المرشح وهي حاملة لبعض المواد الغروانية والبكتريا.
و لا ينصح باستخدام أنظمة الترشيح الرملي البطيء لمعالجة مياه معالجة مسبقاً بالكلور لأنه قد يكون للكلور أثر مدمر على المحيط البيولوجي الدقيق للمرشح.

وتعمل أنظمة الترشيح البطيء بالرمل جيدا فقط بالنسبة لمياه المصدر ذات مستويات التعكر والطحالب المنخفضة وتبذل هذه الأنظمة جهدا كبيراً بصفة خاصة في تعاملها مع المستويات العالية من الطحالب أو المحتوى من الطين الذي يمكن أن يسد أحواض الرمل.

٤ . ٤ . ٢ . المخطط العملي لمنشآت الترشيح البطيء:

المياه السطحية تحتوي بشكل عام مواد معلقة بتركيز يزيد على ٥٠ ملغ/لتر، لذلك تشمل منشأة ترشيح بطيء سلسلة من أحواض الترشيح مسبوقة أو لا بحوض ترسيب الشكل(٤ . ٢).



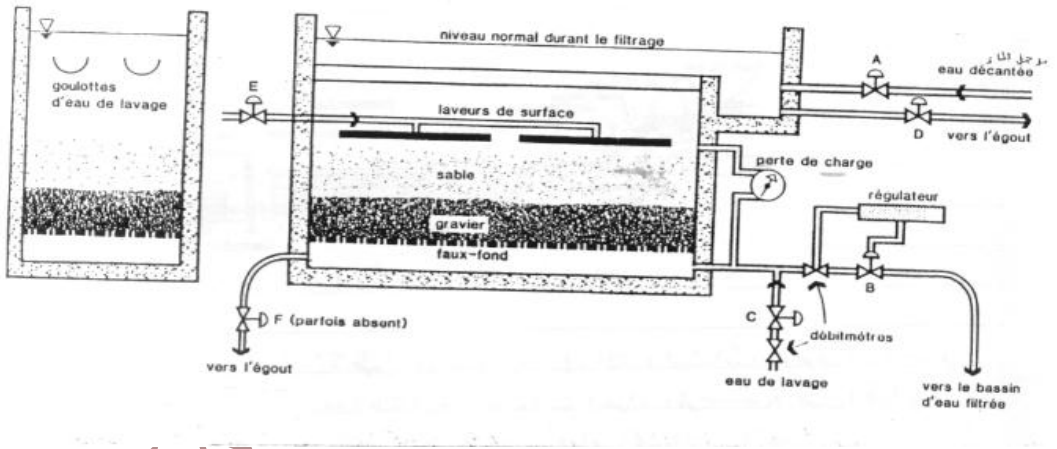
الشكل (٤ . ٢): مكونات منشأة ترشيح بطيء لماء خام.

توضع الأحواض غالباً على ثلاثة طوابق متتالية: إزالة الشوائب الضخمة، ترشيح مسبق، ترشيح بطيء بكل معنى الكلمة. طبقات المواد المرشحة في الطوابق التمهيدية تكون أقل سماكة: ٠.٥ متر، وأبعاد الحبيبات أكبر من ٢ إلى ٣ ملم في مرشح إزالة الشوائب الضخمة، وتصبح أبعاد الحبيبات حوالي ١ ملم من أجل المرشح المسبق. وبخصوص معدل التحميل السطحي فإنه من أجل مرشح إزالة الشوائب الضخمة يكون المعدل من ٧٢ إلى ١٤٤ م٣/م٢ .اليوم ، ومن أجل المرشحات المسبقة يكون المعدل بين

٢٤ و ٤٨ م٣/م٢.اليوم. وتزود المرشحات المسبقة و مرشحات إزالة الشوائب الضخمة بوسائل إزالة إنسطام بتيار إرتدادي للماء، بينما ينظف المرشح البطيء بإزالة سماكة عدة سنتيمترات من الطبقة السطحية للسرير. ومع استعمال المرشح البطيء تنخفض سماكة سرير الترشيح بسبب إزالة جزء من الرمل السطحي فإذا ما انخفضت سماكة طبقة الترشيح إلى ٠.٨ متر ينبغي تحميل المرشح بطبقة رمل نظيف لتعود السماكة لـ ١.٢ متر.

٥.٤ . المرشحات الرملية السريعة المكشوفة

وهي أحواض غالباً مستطيلة الشكل مبنية من البيتون العادي أو المسلح، تشتغل هذه المرشحات تحت تأثير الثقالة (جريان الماء المعد للترشيح من الأعلى إلى الأسفل). مساحة كل حوض لاتزيد على ٥٠ م٢ . يتكون المرشح السريع المكشوف بشكل أساسي، كما في الشكل (٤ . ٣).



الشكل(٤ . ٣): مكونات المرشح السريع المكشوف.

١ . سرير رمل سيليسي بإرتفاع من ٠.٦ إلى ٠.٧٥ متر ، يحتوي حبيبات رمل قطرها الوسطي بين ٠.٥ و ٠.٨ ملم.

٢ . قاع المرشح مكون إما من أرضية مسامية أو مثقبة يعلوها أو لا طبقة داعمة من البحص، وإما شبكة تصريف ذات أنابيب مثقبة لجمع المياه الراشحة مطمورة ضمن طبقة بحص بسماكة من ٠.٤٥ إلى ٠.٥٠ متر .

www.usc.com

٣ . التجهيزات اللازمة للغسيل بالتيار الارتدادي بغية إعادة فعالية سرير الترشيح، وبعض المرشحات تحوي أيضاً تجهيز غسيل سطحي للسرير الرملي مكون من أنابيب مثقبة، ثابتة أو دوارة موضوعة على بعد عدة سنتيمترات فوق الرمل. قذف الماء من هذا التجهيز يُحطم القشرة السطحية الهلامية المتشكلة نتيجة الترشيح. إن تحطيم هذه القشرة يضمن غسيل ارتدادي منتظم.

٤ . قنوات تصريف ماء غسيل المرشح موضوعة على ارتفاع حوالي ٠.٥ متر فوق سطح السرير الرملي.

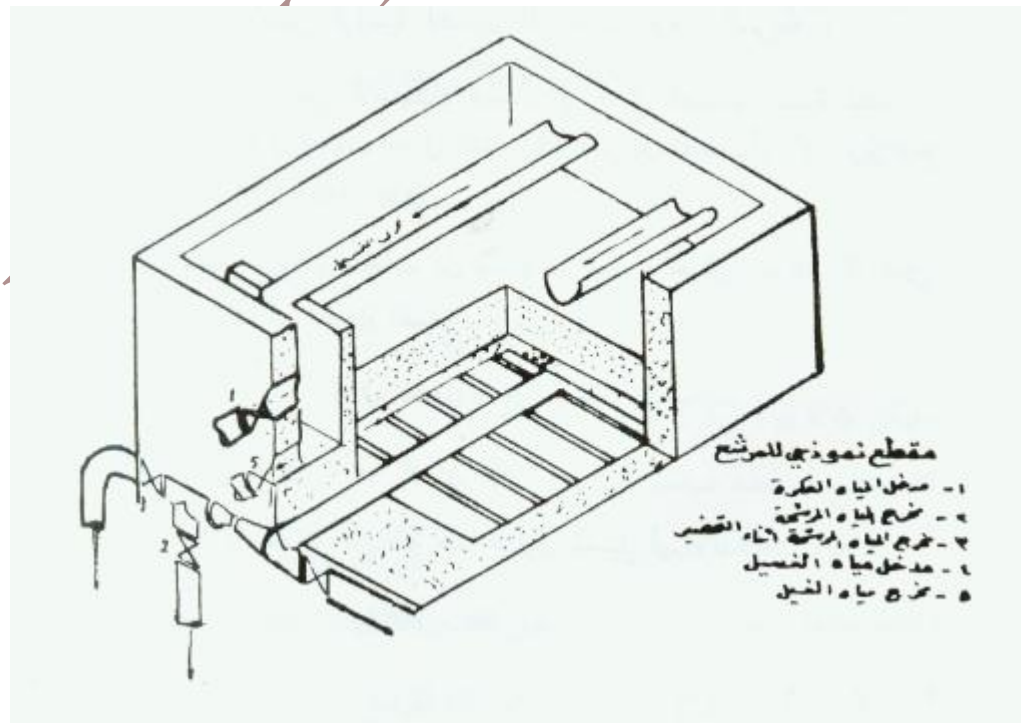
٥ . سكورة دخول وخروج وتجهيزات تحكم وقيادة لمختلف مراحل التشغيل. يسبق الترشيح الرملي السريع ، غالباً، بعملية معالجة للماء بالتخثير وتشكيل الندف، والترسيب لتخفيف الحمل على المرشح وإطالة فترة الترشيح قبل الغسيل.

٤.٥.١ . مراحل تشغيل المرشح الرملي السريع

نميز عدد من المراحل في تشغيل المرشح الرملي السريع المكشوف.

أ . بدء تشغيل المرشح Starting the filter

عند بدء التشغيل لأول مرة بعد انتهاء الإنشاء يملئ المرشح بالماء ببطئ من الأسفل إلى الأعلى حيث يكون السكر C و D مفتوحان وباقي السكورة مغلقة الشكل(٤ . ٤)، وبارتفاع الماء تطرد فقاعات الهواء الموجودة في مسام الحصى والرمل.



islamsc.com

الشكل(٤ . ٤): السكورة المستخدمة في المراحل المختلفة لنشغيل المرشح الرملي السريع.

ب . فترة الإعداد Ripening period

تبدأ بإدخال الماء المعد للترشيح بفتح السكر A ، ولا يجمع الماء الراشح عبر السرير لأنه غير نظيف ويصرف عن طريق السكر F ، وتستمر هذه الفترة من ١٠ إلى ٢٠ دقيقة تتشكل خلالها طبقة سطحية هلامية تؤدي لتحسين نوعية الماء الراشح.

ج . فترة الترشيح Filtation period

تبدأ مباشرة بعد إنتهاء مرحلة الإعداد، ويمر الماء المعد للترشيح من السكر A إلى المرشح بمعدل ثابت (من ١٢٠ إلى ١٨٠ م٣/م٢ .اليوم) ويجمع الماء الراشح الخارج من السكر B ، يفتح من البداية السكر A جزئياً حتى يرتفع منسوب الماء إلى الارتفاع النظامي دون التسبب بإضطراب قابل لتحريك الرمل ثم بعد ذلك يفتح السكر A كلياً ثم يفتح السكر B وتراقب قيمة التدفق الخارج. يكون ضياع الحمولة في سرير الترشيح في بداية فترة الترشيح ٠.٥ متر ثم يزداد تدريجياً، و يوقف الترشيح عندما يصل ضياع الحمولة إلى ١.٧٥ . ٢.٧٥ متر ماء. وتستمر فترة الترشيح من ١٢ إلى ٣٦ ساعة تبعاً لتراكيز المواد المعلقة في الماء المعد للترشيح وحسب أبعاد حبيبات الرمل ومعدل الترشيح الذي ينبغي أن يكون منتظماً خلال فترة الترشيح، وعدم إنتظامه يؤدي لحصول تشققات في السرير الرملي مما يسبب هروب المياه من خلال الشقوق إلى طبقة البحص مباشرة دون أن تحجز المعلقات الموجودة فيها.

د . مرحلة الغسيل Wash period

في حالة توفر تجهيز غسيل سطحي لسرير الرمل، ينفذ في البداية الغسيل السطحي لتحطيم الطبقة الهلامية، بفتح السكر لمدة ٥ دقائق ويخرج الماء من الثقوب بمعدل ٤٠٠ م٣/م٢ .اليوم. بعد ذلك يبدأ الغسيل الارتدادي منفرداً أو مجتمعاً مع الغسيل السطحي لمدة ٥ دقائق وينقذ الغسيل الارتدادي بإغلاق جميع السكورة عدا السكرين C و D . يندفع ماء الغسيل من الأسفل باتجاه طبقة البحص بمعدل ٧٢٠. ١٢٠٠ م٣/م٢ . اليوم. نتيجة لهذا تتفكك كتل الرمل عن بعضها ويتمدد حجمها بنسبة من ٣٠ . ٤٠% ، وتتحرك حبيبات الرمل في الماء الصاعد محتكة ببعضها البعض ويزال عنها ماعلق بها من شوائب أثناء مرحلة الترشيح. تخرج هذه الشوائب مع ماء الغسيل إلى قنوات ماء الغسيل ومنها إلى شبكة التصريف العامة عن طريق السكر D. تتراوح فترة الغسيل الكاملة بين ١٠ و ٢٠ دقيقة، وتستهلك كمية من المياه الراشحة تتراوح بين ١.٥ و ٣.٥% .

www.islamsc.com

٢.٥.٤ . خواص مواد الترشيح

ينبغي أن يكون سرير الترشيح مُكون من مواد غير منحلة، خاملة كيميائياً تجاه الماء العدواني ومقاومة لاحتكاك قوي ناتج عن عملية الغسيل، لذلك من أهم مواد سرير الترشيح الرمل السيليسي.

من ناحية أخرى لنفاذية السرير المرشح تأثير واضح على عملية الترشيح .

تتعلق نفاذية السرير بمساميته (نسبة الفراغات بين الحبات إلى الحجم الكلي)، وبأبعاد الحبيبات (القطر الفعال d_{10} الذي هو بعد فتحات المنخل الذي يمرر ١٠% وزناً من الحبيبات ويفضل أن يكون بين 0.35 . 0.6 ملم و d_{60} الذي هو بعد فتحات المنخل الذي يمرر ٦٠% وزناً من الحبيبات، ومعامل الانتظام الذي يعطى بالعلاقة d_{60}/d_{10} . و يُفضل أن لا تزيد قيمة معامل الانتظام لحبيبات الرمل المستخدم في الترشيح عن ١.٥.

تتبع قيمة معامل النفاذية K لخواص سرير الحبيبات وللزوجة الحركية للسائل:

$$K = K_{هـ} / \nu$$

حيث:

ν : اللزوجة الحركية

$K_{هـ}$: عامل النفاذية الذاتي الخاص بالسرير نفسه وهذا الأخير يتبع لأبعاد المسامات بين الحبيبات (المسامية) وللشكل الهندسي للحبيبات ولتجانسها.

٣.٥.٤ . شبكات جمع المياه الراشحة

في المرشحات ذوات التصميم القديم نسبياً، يستند سرير الرمل على طبقة سميكة من الحصى والبحص التي تطمر فيها شبكة أنابيب مثقبة تخدم لجمع الماء الراشح، تحاط المصارف بحصى أبعادها حوالي ٦ سم، هذه الطبقة يعلوها بحصى بأبعاد متناقصة أكثر فأكثر. تتكون طبقة البحص العليا التي يستند عليها الرمل مباشرة من حبيبات أبعادها ٢ و ٣ ملم.

المرشحات ذوات التصميم الأحدث مزودة غالباً بقاع مستعار مكون من بلاطات بيتونية مسامية أو بلاطات مثقبة أو مزودة بمصافي مثبتة عليها كما في الشكل(٤ . ٥).

www.islamsc.com

الشكل(٤ . ٥) : نماذج القاع المستعار في المرشح السريع المكشوف.

إن دور الطبقة الداعمة والأرضية المستعارة ليس فقط دعم سرير الترشيح وحجز حشوة الترشيح، لكن أيضاً تحقيق إنتظام تيار الماء أثناء الترشيح وأثناء الغسيل بالتيار الارتدادي. ينبغي أن تكون الثقوب والمصافي المثبتة متباعدة واعدادها كافية لتجنب التيارات المنتظمة الزائدة. بعض الأرضيات المستعارة يتطلب طبقة داعمة من البحص كحالة البلاطات المثقبة والبعض الآخر كبلاطات الالوكسيت Aloxut phtes المسامية الشكل (٤ . ٦) لا تتطلب طبقة بحصى تحت الرمل للحصول على توزيع منتظم لمياه الغسيل.

الشكل(٤ . ٦): مقطع جزئي في مرشح ذي بلاطة مسامية وتفصيلة للدعامة الصلبة.

www.islamsc.com

٥.٤ . ٤ . تصميم شبكات الأنابيب المثقبة لجمع المياه الراشحة

تتألف الشبكة من أنابيب فرعية مثقبة متوازية التوضع تصب في أنبوب رئيسي لايحوي ثقوب. تصنع الأنابيب الفرعية من الحديد الزهر أو من الأسبستوس الاسمنتي بينما يصنع الأنبوب الرئيسي من الحديد أو البيتون.

لا تقع ثقوب الأنابيب الفرعية على المولد العلوي للأنبوب بل تقع في الأسفل بحيث يكون الخط الواصل من الثقب إلى مركز مقطع الأنبوب مائلاً على الأفق بزاوية ٤٥° وذلك حتى تندفع المياه عند الغسيل الارتدادي باتجاه الأسفل ثم ترتد إلى الأعلى بانتظام في المقطع الأفقي الكامل للمرشح حتى لا تسبب إضطراباً في طبقة الحصى .

كما أن وضع الثقوب بهذا الشكل يمنع احتمال دخول الرمل إلى الأنابيب المثقبة.

عند تصميم شبكة الأنابيب المثقبة نراعي الأسس التصميمية التالية:

١- قطر الثقوب من 1/4 إلى 1/2 إنش .

٢- تباعد الثقوب : 24 cm ⟶ 8 .

٣- نسبة $\frac{\text{مجموع مساحات الثقوب على الأنبوب الفرعي}}{\text{مساحة مقطع الأنبوب الفرعي}}$ = (1/2 ⟶ 1/4) .

٤- $\frac{\text{طول الأنبوب الفرعي}}{\text{قطره}}$ ≥ ٦٠ .

٥- $\frac{\text{المساحة الكلية لمجموع الثقوب}}{\text{مساحة المرشح الأفقية}}$ = 0.0014 – 0.0021 .

٦- التباعد بين الأنابيب الفرعية تتراوح بين 15 -30 cm .

٧- $\frac{\text{مساحة مقطع الأنبوب الرئيسي}}{\text{مجموع مساحات المقاطع للأنابيب الفرعية المغذية للرئيسي}}$ =2-1.7

سرعة المياه في الأنابيب متغيرة بين (1.295 – 3.5 m/sec) وذلك أثناء الغسيل .

٨- سرعة دخول المياه في الأنبوب إلى المرشح من الأعلى 0.5 m/sec .

١٠- سرعة الماء في أنبوب الغسيل تتراوح بين 1.75 – 2.5 m/sec .

www.islamsc.com

١١- السرعة في انبوب الماء الراشح $1 - 2$ m/sec .

تطبيق عددي ١ :

المطلوب تصميم شبكات صرف للمرشح من نوع الأنابيب المثقبة علماً بأن المرشح هو مرشح رملي سريع معدل الترشيح فيه $125\ m^3/m^2/day$ وعليه تأمين $6250\ m^3$ يومياً.

الحل

لدينا : معدل الترشيح للمرشح $125\ m^3/m^2/day$.

مساحة المرشحات :

$$\frac{6250}{125} = 50\ m^2$$

ويكفي مرشح واحد أبعاده ٦.٢٥ × 8 .

عدد وأقطار الثقوب :

المساحة الكلية للثقوب = ٠.٠٠١٤ ← ٠.٠٠٢١ مساحة المرشح الأفقية .

المساحة الكية للثقوب = ٠.٠٠٠٢ × ٥٠ = $0.1\ m^2$

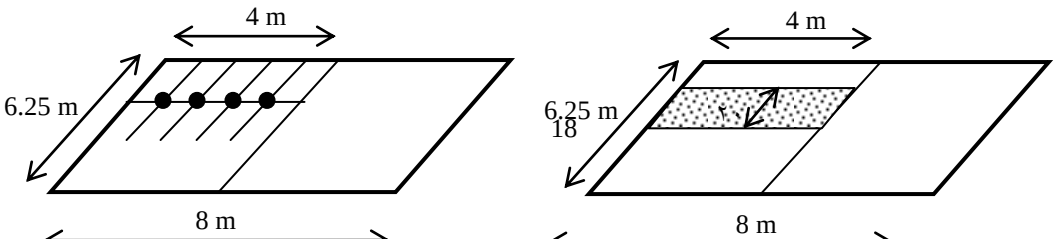
$= 1000\ cm^2$

فإذا افتراضنا أن قطر الثقب 3/8 إنش ≈ 1 cm وبالتالي تكون مساحة الثقب= $0.8\ cm^2$ ومنه يكون عدد الثقوب = $\frac{1000}{0.8}$ = ١٢٥٠ ثقب .

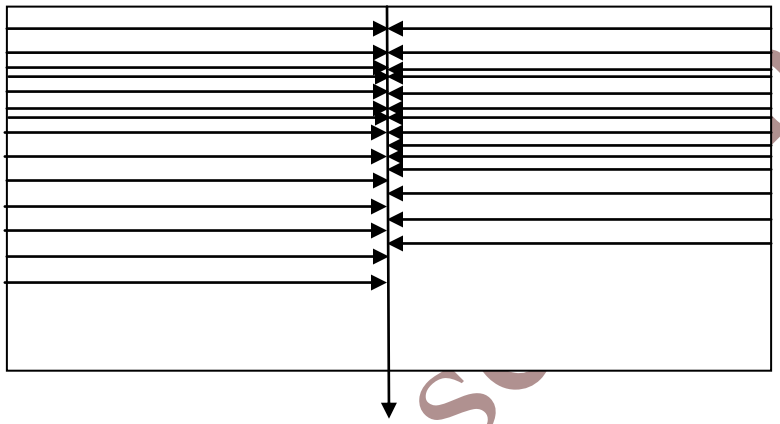
المساحة التي يخدمها الثقب الواحد :

$$\frac{50 \times 10000}{1250} = 400\ cm^2$$

وبذلك يمكن اختيار الثقوب بتباعد 20 cm ، ووضع الأنابيب الفرعية بتباعد 20 cm عن بعضها البعض وذلك مطابق لشروط التصميم. ويبين الشكل(٤-٧) نموذجاً مبسطاً لتوضع الأنابيب :



www.islamsc.com



الشكل(٤-٧): مكونات شبكة الأنابيب المثقبة لجمع المياه الراشحة.

الأنابيب الفرعية :

عدد الأنابيب الفرعية على كل جانب من جوانب الأنبوب الرئيسي :

$$\frac{625}{20} = 31 \text{ أنبوب}$$

إذاً ٣١ أنبوب على كل جانب وطول كل منها 4 m فيكون العدد الكلي للأنابيب الفرعية = ٦٢

ولدينا عدد الثقوب الكلي 1250 فيكون عدد الثقوب على الأنبوب الفرعي الواحد :

$$\frac{1250}{62} = 20 \text{ ثقب}$$

وتكون مساحة الثقوب على الأنبوب الفرعي الواحد $20 \times 0.8 = 16\ cm^2$

ولدينا من أسس التصميم : أن مساحة مقطع الأنبوب الفرعي = ٢ ~~٤~~ أضعاف مجموع مساحات الثقوب التي عليه فنختار (٣) أضعاف .

مساحة مقطع الأنبوب الفرعي $16 \times ٣ = 48\ cm^2$

$$\Rightarrow \frac{\pi D^2}{4} = 48$$

$\Rightarrow D^2 = \frac{4\times48}{3.14} = 61.1$

$\Rightarrow D = 7.82\ cm = 3$ إنش

$7.8 \times 60 = 468\ cm = 4.68 > 4\ m$

أي أنها تحقق الشرط : إن طول الأنبوب أصغر أو يساوي ٦٠ مرة قطر الأنبوب الفرعي .

ولدينا من أسس التصميم :

$$(1.7 \rightarrow 2) = \frac{\text{مساحة مقطع الأنبوب الرئيسي}}{\text{مجموع مساحات المقاطع للأنابيب الفرعية المغذية للرئيسي}}$$

لدينا مساحة الأنبوب الفرعي $48\ cm^2$.

لدينا عدد الأنابيب الفرعية الموصلة بالأنبوب الرئيسي 62 أنبوب

وبالتالي مجموع مساحات مقاطع الأنابيب الفرعية :

$62 \times 48 = 2976\ cm^2$

مساحة المقطع للأنبوب الرئيسي (نختار ١.٧) :

$1.7 \times 2976 = 5059.2\ cm^2$

$\Rightarrow \frac{\pi D^2}{4} = 5059.2\ cm^2$

$\Rightarrow D^2 = \frac{4\times5059.2}{3.14} = 6444.84$

$\Rightarrow D = 80.28\ cm \approx 80\ cm$

وفي هذه الحالة نستطيع أن نستبدل الأنبوب بمجرى مستطيل تصب فيه الأنابيب الفرعية أبعاده 63

$80 \times cm$

تصميم الأنابيب الخارجية الملحقة :

- أنبوب تغذية المرشح بالمياه الخارجية من حوض الترويق .

سرعة الدخول $0.5\ m/sec = 50\ cm/sec$

- التدفق اليومي الوارد إلى المرشح $6250\ m3\ /\ j$.

$$Q = \frac{6250}{3600 \times 24} = 0.072\ m3/sec\ .$$

www.islamsc.com

مساحة مقطع أنبوب التغذية:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.072}{0.5} = 0.144 \text{ m2} = 1440 \text{ cm2}$$

$$D = \frac{\pi D^2}{4} = 1440 \text{ cm2}$$

D = 42.8 cm ≈ 43 cm ≈ 17 inches

- أنبوب مياه الغسيل :

معدل الغسيل = 500 ⟶ 800 L/m2/min

المتوسط / ٦٠٠ / ، ولدينا مساحة المرشح 50 m2 :

600 × 50 = 30000 L/min = 30 m3 / min = 0.5 m3 /sec

تؤخذ السرعة الوسطية في أنبوب الغسيل 2 m/sec :

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.5}{2} = 0.25 \text{ m}^2 = \frac{\pi D^2}{4}$$

D = 0.564 m = 56.4 cm

وقد يقام قناة أو مجرى وذلك حسب تصريف مياه الغسيل من المرشح .

- أنبوب المياه المرشحة والتي تقود المياه إلى خزانات التجميع :

تدفق المرشح $0.0725 \text{ m}^3/\text{sec}$

والسرعة في أنبوب الترشيح 1 – 2 m/sec

نأخذ السرعة المتوسطة 1.5 m/sec

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.0725}{1.5} = 0.048 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.048}{\pi}} \approx 25 \, cm = 10 \, inches$$

تطبيق عددي٢ :

www.islamsc.com

المطلوب تصميم شبكات صرف للمرشح من نوع الأنابيب المثقبة علماً بأن المرشح هو مرشح رملي سريع وعليه تأمين $6250\ m^3$ يومياًن أختر مرشحات مساحة الواحد منها ٢٥ متر مربع.

الحل

لدينا : معدل الترشيح للمرشح $125\ m^3/m^2/j$.

مساحة المرشحات :

$$\frac{6250}{125} = 50\ m^2$$

نختار مرشحين أساسيين و مرشح احتياط ، مساحة المرشح المطلوبة هي $25\ m^2$.

نختار أبعاد المرشح : $5m \times 5m$.

عدد وأقطار الثقوب :

المساحة الكلية للثقوب = ٠.٠٠١٤ ⟵ ٠.٠٠٢١ مساحة المرشح الأفقية .

المساحة الكية للثقوب = ٠.٠٠٢ × ٢٥ = $0.05\ m^2$

$= 500\ cm^2$

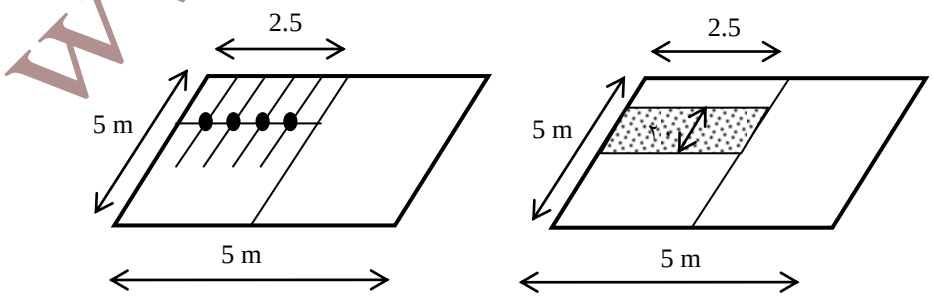
فإذا افتراضنا أن قطر الثقب 3/8 إنش $\approx 1\ cm$ وبالتالي تكون مساحة الثقب= $0.8\ cm^2$

ومنه يكون عدد الثقوب = $\frac{500}{0.8}$ = ٦٢٥ ثقب .

المساحة التي يخدمها الثقب الواحد :

$$\frac{25 \times 10000}{625} = 400\ cm^2$$

وبذلك يمكن اختيار الثقوب بتباعد 20 cm ، ووضع الأنابيب الفرعية بتباعد 20 cm عن بعضها البعض وذلك مطابق لشروط التصميم والشكل التالي يبين نموذجاً مبسطاً لتوضع الأنابيب:



www.islamisc.com

الأنابيب الفرعية :

عدد الأنابيب الفرعية على كل جانب من جوانب الأنبوب الرئيسي :

$$\frac{500}{20} = 25 \text{ أنبوب}$$

إذاً ٢٥ أنبوب على كل جانب وطول كل منها ٢.٥m فيكون العدد الكلي للأنابيب الفرعية = ٥٠

ولدينا عدد الثقوب الكلي ٦٢٥ فيكون عدد الثقوب على الأنبوب الفرعي الواحد :

$$\frac{625}{50} = 13 \text{ ثقب}$$

وتكون مساحة الثقوب على الأنبوب الفرعي الواحد $0.8 \times 13 = 10.4 \text{ cm}^2$

ولدينا من أسس التصميم : أن مساحة مقطع الأنبوب الفرعي = ٢ ← ٤ أضعاف مجموع مساحات الثقوب التي عليه فنختار (٣) أضعاف .

مساحة مقطع الأنبوب الفرعي $٣ \times ١٠.٤ = 31.2 \text{ cm}^2$

$$\Rightarrow \frac{\pi D^2}{4} = 31.2$$

$$\Rightarrow D^2 = \frac{4 \times 31.2}{3.14} = 39.74$$

$$\Rightarrow D = 6.3\ cm = 2.5 \text{ إنش}$$

$$6.3 \times 60 = 378 \text{ cm} = 3.78 \text{ m} > 2.5 \text{ m}$$

أي أنها تحقق الشرط : إن طول الأنبوب أصغر أو يساوي ٦٠ مرة قطر الأنبوب الفرعي .

ولدينا من أسس التصميم :

$$(1.7 \rightarrow 2) = \frac{\text{مساحة مقطع الأنبوب الرئيسي}}{\text{مجموع مساحات المقاطع للأنابيب الفرعية المغذية للرئيسي}}$$

لدينا مساحة الأنبوب الفرعي 31.2 cm^2 .

لدينا عدد الأنابيب الفرعية الموصلة بالأنبوب الرئيسي 50 أنبوب

وبالتلي مجموع مساحات مقاطع الأنابيب الفرعية :

$$٥٠ \times 31.2 = 1560 \text{ cm}^2$$

مساحة المقطع للأنبوب الرئيسي (نختار ١.٧) :

$$1.7 \times 1560 = 2652 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow \frac{\pi D^2}{4} = 2652 \text{ cm}^2$$

www.islamsc.com

$\Rightarrow D^2 = \frac{4\times2652}{3.14} = 3378.34$

$\Rightarrow D = 58.12\ cm \approx 60$ cm

وفي هذه الحالة نستطيع أن نستبدل الأنبوب بمجرى مستطيل تصب فيه الأنابيب الفرعية أبعاده ٦٠ × 45 cm

تصميم الأنابيب الخارجية الملحقة :

- أنبوب تغذية المرشح بالمياه الخارجية من حوض الترويق .

سرعة الدخول 0.5 m/sec = 50 cm/sec

- التدفق اليومي الوارد إلى المرشح 3125 m3 /day .

$$Q = \frac{3125}{3600 \times 24} = 0.036 \text{ m3/sec}$$

مساحة مقطع أنبوب التغذية:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.036}{0.5} = 0.072 \text{ m2} = 720 \text{ cm2}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 720 \text{ cm2}$$

D = 30.28 cm ≈ 30 cm ≈ 12 inches

– أنبوب مياه الغسيل :

معدل الغسيل = 500 → 800 L/m2/min

المتوسط / ٦٠٠ / ، ولدينا مساحة المرشح 25 m2 :

600 × 25 = 15000 L/min = 15 m3 / min = 0.25 m3 /sec

تؤخذ السرعة الوسطية في أنبوب الغسيل 2 m/sec :

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.25}{2} = 0.125\ m^2 = \frac{\pi D^2}{4}$$

www.islamsc.com

D = 0.399 m = 40 cm

وقد يقام قناة أو مجرى وذلك حسب تصريف مياه الغسيل من المرشح.

– أنبوب المياه المرشحة والتي تقود المياه إلى خزانات التجميع :

تدفق المرشح $0.036\ m^3/sec$

والسرعة في أنبوب الترشيح $1 - 2\ m/sec$

نأخذ السرعة المتوسطة $1.5\ m/sec$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.036}{1.5} = 0.024\ m^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.048}{\pi}} \approx 17.5\ cm = 7\ inches$$

www.islamsc.com

ضياع الحمولة في المرشح الرملي

عندما يبدأ انسطام السرير الترشيح تتناقص نفاذية المنطقة المنسطمة، وتصبح النفاذية غير ثابتة وعلاقة دارسي لاتصبح قابلة للتطبق في المنطقة المنسطمة، بل فقط في المنطقة غير المنسطمة حيث يكون ضياع الحمولة متناسب مع سماكة الرمل المعبور من قبل الماء حسب العلاقة:

$$\frac{dH}{dL} = \frac{1}{k} \cdot \frac{Q}{A}$$

تبين في الشكل (٤ . ٨) على محور التراتيب الارتفاع الكلي للماء في كل نقطة وعلى محور الفواصل يظهر الضغط، معبر عنه بارتفاع ماء. عندما يكون المرشيح متوقف عن العمل فإن العلاقة بين ارتفاع الماء والضغط تعطى بالمستقيم CD، لكن يتسخ المرشح في السنتيمترات الأولى العلوية من السرير ويتناقص

الضغط في هذه المنطقة حسب المنحني CE، وبما أن باقي سماكة سرير الترشيح نظيفة فإن الضغط يتناقص حسب المستقيم EF.

تكون جبهة الترشيح في بداية الترشيح على المستوى C ثم تتقدم إلى المستوى E و G وأخيراً إلى المستوى F .

الشكل (٤ . ٨): منحنيات الضغط في سرير ترشيح تقليدي.

في حالة المنحني CIJKL ، يوجد فراغ في سرير الترشيح بين المستويات I و K، ينبغي تجنب هذا الظرف بتوقيف الترشيح قبل أن يخرج الماء .

٦.٤ . ضياع الحمولة في سرير الترشيح

ينتج عن جريان الماء عبر سرير الترشيح ضياع طاقة بسبب الاحتكاك، يُقاس بضياع الحمولة، أو هبوط الضغط الذي يتعرض له الماء.

عندما يكون سرير الترشيح نظيفاً فإن ضياع الحمولة يتعلق بنفاذية السرير K حسب قانون دارسي:

$$\Delta H = \frac{Q \cdot L}{K \cdot A} \qquad (3 - 21)$$

حيث:

Q: تدفق الماء المعد للترشيح.

L: ارتفاع طبقة سرير الترشيح.

A: مساحة مقطع السرير.

خلال الترشيح ينسطم السرير بسرعة كبيرة أو قليلة وبالتالي يزداد ضياع الحمولة.

www.islamsc.com

يبين في الشكل (٤ . ٩) ضياع الحمولة في مرشح مزود بمقياسي ضغط A و B موضوعين على نفس العمق تحت مستوى الماء .

الشكل (٤ . ٩): ضياع الحمولة في المرشح.

عندما يكون المرشح بحالة استراحة، نجد نفس قيمة الضغط في المقياسين، لكن عندما يبدأ جريان الماء فإن المقياس B يشير إلى ضغط أقل:

$$PB < PA$$

والفارق:

$$(\Delta H)T = PA - PB$$

ضياع الحمولة الناتج عن جريان الماء عبر سرير الترشيح وطبقة البحص وتجهيزات جمع الماء الراشح أو الأرضية المستعارة. مع تقدم إتساخ المرشح تزداد قيمة (ΔH) وتصبح قياس لدرجة إتساخ المرشح. بيد أنه ينبغي ذكر أن الجزء من (ΔH) الذي سببه فقط سرير الترشيح هو الذي يتغير . أما ضياع الحمولة الناتج عن الأرضية المستعارة فيتبع لبنيتها فقط.

من ناحية ثانية يعطى الضغط في B بالعلاقة:

$$PB = H - (\Delta H)T$$

حيث:

H ارتفاع الماء فوق منسوب مقياس الضغط.

مع استمرار انسطام سرير الترشيح تزداد قيمة $(\Delta H)T$حتى تصبح مساوية لـ H ، $(\Delta H)T = H$ أي ينعدم الضغط في B ، $PB = 0$.

وإذا استمر الترشيح بعد هذا يصبح الضغط PB سالباً حيث

$$(\Delta H)T > H$$.

في حالة سرير ترشيح تقليدي، يحصل ضياع الحمولة ، خاصة ، في السنتمترات الأولى من الطبقة العلوية للسرير حيث تتركز الحبيبات الأنعم بسبب التطبق الذي ينتجه الغسيل الارتدادي. ينتج عن هذا أن

www.islamsc.com

تحصل ظروف انفراغية تحت هذه الطبقة السطحية في البداية حتى داخل طبقة الترشيح، وتزداد هذه الظروف كلما كان ارتفاع الماء أقل.

إن وجود ضغط أقل من الضغط الجوي داخل سرير الترشيح يؤدي لإزالة الغازات من الماء وتتشكل فقاعات هوائية قادرة على التسبب في إنسطام المرشح.

٧.٤ . المرشحات السريعة المكشوفة ذوات الطبقات المتعددة

من الملاحظ أن المرشحات السريعة التقليدية الحاوية على طبقة رمل تتعرض إلى تنضيد لحبيبات الرمل تبعاً لأبعادها بعد عملية الغسيل الارتدادي فالحبيبات الكبيرة تتوضع في أسفل الطبقة بينما الحبيبات الأنعم تتوضع في الطبقة العليا السطحية، أي أن الحبيبات الأكثر قابلية للإنسطام ستقابل مياه ذات تركيز أعلى بالشوائب. يؤدي هذا إلى إنسطام سريع للطبقة العلوية من رمل الترشيح وبالتالي ضرورة إيقاف الترشيح لإجراء الغسيل الارتدادي على الرغم من أن الطبقات الأعمق من سرير الرمل والحاوية على الحبيبات الأكبر لم تصل لحالة الإنسطام .

لحل هذه المسألة يمكن استخدام مرشح متعدد الطبقات بحيث تكون الطبقات العلوية حاوية على حبيبات ذوات أبعاد أكبر من أبعاد حبيبات الطبقة السفلية، وحتى لايقلب الغسيل الارتدادي هذا التوزيع لتطبق الحبيبات ينبغي أن تكون الكتلة الحجمية للحبيبات في الطبقة العلوية أدنى من الكتلة الحجمية لحبيبات الطبقة السفلية. ينفذ هذا الإجراء في حالة المرشح ثنائي الطبقة باستخدام فحم الانتراسيت المكسر في الطبقة العلوية والرمل السيليسي في الطبقة السفلية.

لتخفيض تداخل الطبقات مع بعضها لأقل مايمكن ينبغي اختيار أبعاد الحبيبات بحيث يكون تمدد الطبقات وسرعة سقوط الحبيبات المختلفة الأبعاد والكتلة الحجمية، متساوية تقريباً . يأخذ بالاعتبار قوانين الترسيب من أجل نظام جريان انتقالي يلزم من أجل سرير ترشيح ثنائي الطبقة أن يكون:

$$\frac{d1}{d2} = \left[\frac{\rho_2 - \rho_w}{\rho_1 - \rho_w}\right]^{0.62}$$

www.islamsc.com

(3 - 22)

حيث:

d1 : القطر d_{60} (قطر المنخل الذي يمرر ٦٠% وزناً) من حبيبات الطبقة العلوية.

e1 :الكتلة الحجمية لحبيبات هذه الطبقة .

d2 : القطر الفعال d_{10} (قطر المنخل الذي يمرر ١٠% وزناً) لحبيبات الطبقة السفلية.

e2 :الكتلة الحجمية لحبيبات هذه الطبقة.

e3 :الكتلة الحجمية للسائل.

لكن لايمكن تجنب حصول بعض التداخل في هذه الطبقات، وبالتالي تنقص نفاذية المناطق الإنتقالية، وخلال الترشيح تنسطم المناطق الإنتقالية بقوة أكبر، أما فيما يخص السماكات النسبية لكل واحدة من الطبقتين، نقبل بشكل عام القاعدة التالية:

$$\frac{l1}{l2} = \frac{d60(1)}{d60(2)}$$

(3 - 23)

٨.٤ . ضبط تدفق الماء الراشح في المرشحات المكشوفة

للمحافظة على تدفق ثابت للماء الراشح على الرغم من تقدم انسطام سرير الترشيح قد نضطر لتغير سماكة طبقة الماء فوق سرير الترشيح.

عندما يكون المرشح نظيفاً فإن الماء يعبر طبقة الترشيح بسرعة كبيرة إذا لم يكبح مروره بوساطة تجهيز ميكانيكي أو هوائي يخلق ضياع حمولة تعويض. ويقلل ضياع التعويض هذا كلما ازداد انسطام سرير الترشيح ، بحيث نحافظ على تدفق ثابت للماء الراشح.

لنشير ، دون الدخول في تفاصيل التجهيزات المتعددة المتوفرة لضبط تدفق الماء الراشح، إلى المبدأين اللذين يحكمان التجهيزات:

التحكم العلوي أو التحكم السفلي

في حالة التحكم العلوي مهمة تجهيز التحكم الحفاظ على مستوى ثابت للماء فوق المرشح. تؤمن تغذية المرشح بالماء بوساطة هدار أو فتحة قابلة للتعيير بحيث يستقبل كل مرشح تدفق ماء ثابت. تُقاد حركات العضو المعرض لضياع الحمولة إنطلاقاً من مستوى الماء فوق المرشح كما في الشكل (٤ . ١٠).

www.islamsc.com

الشكل (٤ . ١٠): ضبط تدفق الماء الراشح مع مستوى ثابت للماء فوق المرشح.

في حالة الضبط السفلي مهمة تجهيز الضبط الحفاظ على تدفق ماء راشح ثابت في المرشح لكن مستوى الماء فوق المرشح يمكن أن يتغير ليعوض ضياع الحمولة في سرير الترشيح. تغذية كل حوض ترشيح على حدة بالماء والتحكم بالعضو المعوض لضياع الحمولة يوفران بوساطة هدار أو فتحة قابلة للتغيير الشكل (٤ . ١١).

١ . مدخل الماء المعد للترشيح ٢ . وسط الترشيح ٣ . أرضية المرشح ٤ . ضابط للتدفق ٥ . ماء راشح

الشكل (٤ . ١١): ضبط تدفق الماء الراشح مع تغيير في مستوى الماء فوق المرشح.

كما استخدم للحفاظ على ثبات تدفق الماء الراشح أنبوب فانتوري يوضع عند أنبوبة مخرج المياه الراشحة حيث يوازن تدفق الماء في المرشح بذراع الرافعة التي ينزلق عليها وزن معين بحيث يسمح بمرور كمية الماء المحددة بوزن الرافعة فقط. عندما يزداد تدفق الماء الراشح يزداد فرق الضغط بين عنق ونهاية الجهاز عن

www.islamsc.com

القيمة الموازنة بذراع الرافعة وبالتالي ينخفض القرص المرن إلى الأسفل فيغلق قليلاً فتحة الماء وينقص التدفق المار مما يؤدي إلى نقصان فرق الضغط بين طرفي القرص عن القيمة الموازنة بذراع الرافعة . . . وهكذا يرتفع القرص المرن ثانية إلى أن يتوازن التدفق وبالتالي فرق الضغط مع القيمة بذراع الرافعة الشكل (٤ . ١٢).

٤ . ضابط للتدفق ٥ . ماء راشح

الشكل (٤ . ١٢): أنبوب فانتوري منظم لتدفق المياه الراشح.

٩.٤ . المرشحات السريعة المغلقة (المضغوطة)

تتألف هذه المرشحات كما يظهر في الشكل (٤-١٣) من خزانات مغلقة شاقولية أو أفقية وبقاع كروي و يمر فيها الماء المعد للترشيح تحت ضغط قد يصل إلى ٦ بار، وتضخ المياه إلى هيكل المرشح المضغوط (٢) عن طريق الأنبوب(٨) حيث توزع بوساطة قمع (١). وتمر المياه عبر الطبقة المرشحة ومنها إلى شبكة صرف المياه المرشحة (٣)، و تضخ عبر الأنبوب (٥) إلى الشبكة. أما بالنسبة لمياه الغسيل فإنها تضخ عبر شبكة الصرف (٣) في اتجاه معاكس حيث تجري المياه عبر القمع (١) الموصول بالأنبوب (٨) الذي يقع عليه سكر (٩) وبالتالي إلى المجرى (٧). وتنظم شدة الغسيل عبر صمام مع عوامة (٢) وعلى جانب سطح المرشح (٢) تتوضع فتحة (٤).

تتراوح أقطار المرشحات الشاقولية المضغوطة بين (1 - 3.4 متر) وإن زيادة القطر عن (3.4 متر) تؤدي إلى صعوبات في عملية نقل المرشحات الجاهزة للاستخدام.

www.islamsc.com

الشكل(٤ .١٣): مخطط مرشح مغلق شاقولي مضغوط.

و تتكون الطبقة المرشحة من مواد ذوات أبعاد حبيبات وكتلة حجمية تتوافق مع أهمية السرعة الارتدادية لماء الغسيل اللازمة لتمديد الطبقة المرشحة، و تستند طبقة الترشيح على طبقات متتالية من مواد ذوات أبعاد حبيبات متزايدة كلما اتجهنا نحو الأسفل.

تتغير سرعة الترشيح من ٥ إلى ٥٠ م/سا تبعاً لأبعاد الحبيبات. ويتبع ضياع الحمولة الأقصى الذي يحصل في نهاية دورة الترشيح في هذه المرشحات لنعومة حبيبات طبقة الترشيح ولسرعة الترشيح المطبقة، و يمكن أن يتغير الضياع بين ٠.٢ و ٢.٥ بار . تتعلق سرعة غسيل المرشح بأبعاد الحبيبات أيضاً، حيث ينبغي عليها تحقيق تمدد ارتفاع طبقة الترشيح بنسبة ١٥ إلى ٢٥% .

لهذا من أجل حبيبات ذوات قطر فعال ٠.٣٥ ملم تطبق سرعة غسيل ٣٥ م/سا .

أما من أجل قطر فعال ٠.٧٥ فتكون سرعة الغسيل ٦٥ م/سا ومن أجل قطر فعال ٠.٩٥ ملم فتطبق سرعة غسيل ٨٠ م/سا.

يتم تحديد مدة دورة غسيل المرشح تبعاً لنوعية ماء الغسيل الخارج، تراوح هذه المدة بين ٥ و ٨ دقائق تبعاً لإرتفاع الرمل وكمية المواد المحجوزة .

أما المرشحات الشاقولية ذوات الغسيل بالماء والهواء معاً فيمكن أن تكون مؤلفة من طبقة ترشيح وحيدة متجانسة أو من عدة طبقات ترشيح. تستند طبقة الترشيح على أرضية معدنية مثقبة تثبت عليها مصافي معدنية أو بلاستيكية (شكل ٤ . ١٤) .

www.islamsc.com

١ . جسم المرشح ٢ . الكتلة المرشحة ٣ . أرضية مع مصاف ٤ . كأس التغذية

٥ . دخول الماء الخام ٦ . خروج الماء الراشح ٧ . دخول ماء الغسيل ٨ . خروج ماء الغسيل

٩ . دخول هواء الغسيل ١٠ . تنفيث الهواء ١١ . تفريغ الهواء ١٢ . فتحات ١٣ . حلقة غسيل

الشكل ٤ . ١٤: مكونات مرشح مغلق ذو غسيل بالماء والهواء معاً .

ينفذ غسيل هذه المرشحات بإمرار متزامن لهواء وماء راشح بتدفق ضعيف وباتجاه عكسي، ثم تتم عملية شطف للسرير بتدفق ماء راشح كبير.

من أهم المواصفات الشائعة للمرشحات الشاقولية ذوات الغسيل بالماء والهواء نذكر:

. القطر الفعال لحبيبات الطبقة المرشحة من ٠.٧ إلى ١.٣٥ ملم .

. تدفق هواء الغسيل ٥٠م٣/م٢. سا

. تدفق ماء الغسيل خلال نفث الهواء من ٥ إلى ٧ م٣/م٢ . سا

. تدفق ماء الشطف لوحده من ١٥ . ٢٥ م٣/ م٢ . سا

. ضياع الحمولة في نهاية دورة الترشيح بين ٠.١ و ٠.٤ بار.

يختار ارتفاع طبقة الترشيح تبعاً لسرعة الترشيح ولأهمية تركيز المواد المعلقة في الماء المعد للترشيح تتراوح سرع الترشيح بين ٤ و ٢٠ م/سا .

تستخدم المرشحات الشاقولية المضغوطة في محطات المعالجة ذات الانتاجية ٥٠٠٠ م٣/اليوم. وانطلاقاً من الناحية الأقتصادية وعندما تزيد الانتاجية عن ٥٠٠٠ م٣/اليوم وفي الظروف التي لايسمح فيها استخدام المرشحات البيتونية المسلحة المكشوفة يلجأ إلى استخدام المرشحات الأفقية المضغوطة. وتكون هذه المرشحات بأقطار تصل حتى 3.4 متر وطول حتى ١٠ متر وسطح ترشيح حتى ٢٧ متر مربع.

يسمح نموذج المرشحات المغلقة الأفقية باقتصاد في الإنشاء عندما يكون المقصود إنجاز سطوح ترشيح كبيرة إنطلاقاً من سطوح أصغر موجودة سابقاً حيث يكفي زيادة طول الوعاء الأسطواني ذو المحور الأفقي بدون تعديل قطره.

كما يمكن وضع عدة مرشحات أفقية فوق بعضها البعض لتقليل مساحة الأرض اللازمة (شكل ٤ . ١٥).

www.islamsc.com

الشكل ٤ . ١٥ : نصب المرشحات المغلقة الأفقية فوق بعضها البعض .

تستخدم المرشحات الأفقية المضغوطة لترشيح مياه خام قليلة الحمولة بالمواد المعلقة لأن سماكة طبقة الترشيح حوالي ١.٥ م فقط.

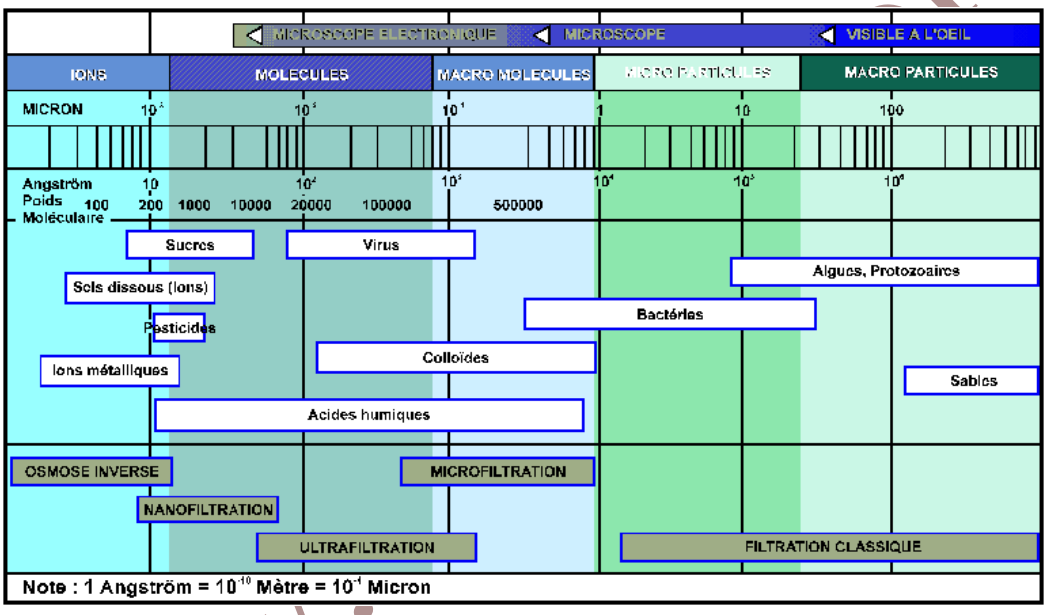
المرشحات المضغوطة غير مفيدة للاستعمال كمرشحات ابتدائية لتخفيف الحمولة عن المرشحات الرميلة البطيئة إذ ان الأخيرة تتطلب مساحات واسعة عند سطح الأرض ولا فائدة من المستوى البيترومتري العالي للماء الراشح الخارج من المرشحات المغلقة.

أيضاً لا يستخدم الترشيح تحت الضغط كمعالجة بعد التخثير لأن الضخ اللازم لتوجيه المياه إلى المرشح يُكسر الندف مما يقلل من فعالية الترشيح، لذلك تستعمل المرشحات المغلقة لتأمين مياه الامداد إنطلاقاً من مياه خام ذوات نوعية جيدة في كل الظروف كالمياه الجوفية. كما تستعمل لتأمين المياه للمصانع أو الوحدات السكنية المتنقلة كوحدات الجنود المحاربة وفي هذه الحالة يثبت المرشح المغلق على سيارة نقل عادية لنقله من مكان إلى آخر حسب الحاجة.

٤-١٠- الترشيح بالأغشية

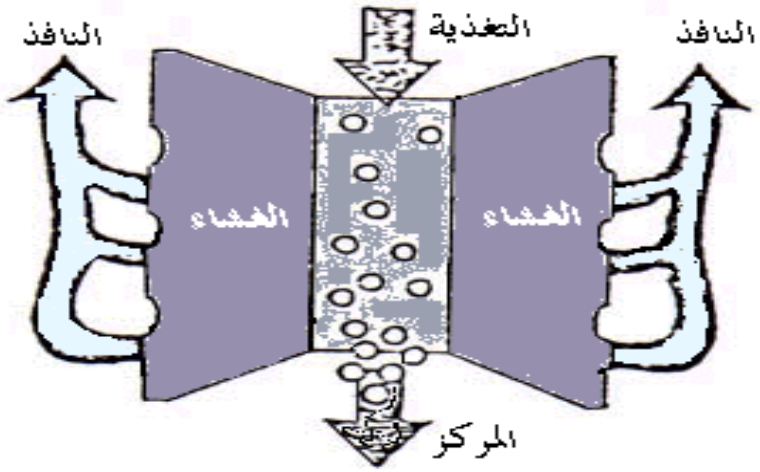
www.islamsc.com

تحتوي أغشية الترشيح على مسامات دقيقة، وتبعاً لأبعاد هذه المسامات يتم حجز الملوثات. ويتقدم باستمرار استخدام الأغشية في معالجة المياه لإنجاز عمليات فصل لشوائب معلقة أو غروانية أو منحلة تبعاً لأبعاد مسامات الأغشية، لذلك تحدد نوعية الأغشية التي يمكن استخدامها تبعاً لأحجام الملوثات المطلوب فصلها كما في الشكل (٤-١٦)



الشكل (٤-١٦): تصنيف الملوثات في المياه حسب أبعادها، وأساليب الترشيح الممكنة.

يتم في التقانات ذوات الأغشية تجزئة محلول التغذية إلى جزئين الأول هو المحلول النافذ عبر الغشاء Permeat والثاني هو المحجوز من قبل الغشاء Retentat كما في الشكل (٤-١٧).



الشكل (٤-١٧): توزع التدفق الداخل إلى عملية المعالجة بالأغشية إلى تدفقين خارجين.

ولا تتطلب الأجهزة المستخدمة في التقنيات ذوات الأغشية حيزاً كبيراً ولا أعمال هندسة مدنية ضخمة، و ينتج عن معالجة المياه بهذه التقانات كميات مخلفات أدنى من تلك الناتجة عن طرائق المعالجة التقليدية أو الكيميائية.

القوة المحركة في عملية معالجة المياه بالأغشية هي في الغالب ميكانيكية (فرق ضغط) كما في تقانة الترشيح الدقيق **Microfiltration** أو الترشيح فائق الدقة **Ultrafiltration** أو الترشيح النانومتري **Nanofiltration** أو التناضح العكسي **Reverse Osmosis** .

بما أن الأغشية المستخدمة في عمليات المعالجة هي أغشية تسمح بنفوذية مكونات في محلول بينما تمنع مكونات أخرى من النفوذ فإن تركيب المحلول العابر للغشاء يختلف عن تكوين المحلول المعدّ للمعالجة.

يُعزى مفهوم غشاء نصف منفذ إلى القسيس نوليت Nollet الذي درس ظاهرة التناضح (أي مرور المذيب من محلول ذي تركيز منخفض إلى محلول ذي تركيز أعلى) باستخدام أغشية حيوية طبيعية

أما تحديد الضغط الإسموزي فتمَّ في وسط القرن التاسع عشر .

تتميز مختلف طرائق الفصل التي تستخدم الأغشية نصف المنفذة بـ

- بعد الجزيئات المعتبرة المطلوب حجزها.
- طبيعة القوة المحركة للتحويل.
- الطبيعة الفيزيائية والكيميائية للغشاء.

من أهم طرائق المعالجة التي تستخدم الأغشية، نذكر:

www.islamsc.com

– الترشيح الدقيق Microfiltration

الترشيح الدقيق هو عملية تعتمد على فصل جسيمات Particle وأحياء دقيقة موجودة بشكل معلقات (من ١ ميكرومتر حتى ١٠ ميكرومتر) بإمرار تحت ضغط بسيط (عدة بارات) المذيب عبر الغشاء. يطبق الترشيح الدقيق لإزالة المعلقات وإزالة التلوث الجرثومي من المحاليل.

– الترشيح فائق الدقة Ultrafiltration

الترشيح فائق الدقة هو عملية تسمح بتنقية أو تركيز المعلقات الغروائية، بتأمين جريان تحت ضغط متوسط (أدنى من ١٠ بار) وبتماس مع غشاء نصف منفذ ذي مسامات صغيرة جداً (أدنى من ٠.١ ميكرومتر) يَحجُزُ هذا الغشاء بفعل الغربلة الجسيمات أو الجزيئات الضخمة Macromolecules ذات الأقطار الهيدروديناميكية الأكبر من قطر خاص يدعى حد الفصل بينما يَعبر المذيب والأجسام المذابة ذات الكتلة الجزيئية الضعيفة بتدفق يتناسب مع الضغط المطبق. يدعى الجزء الذي يعبر الغشاء بالجزء النافذ أو المحلول الراشح Permeat أما الجزء الآخر فهو محلول مُركز بالمركبات ذات الكتلة الجزيئية العالية ويدعى هذا المحلول بالمحجوز أو الممسوك Retentat. الفارق الأساسي بين الترشيح الدقيق والترشيح فائق الدقة هو أبعاد الجسيمات المحجوزة من قبل الغشاء فالترشيح فائق الدقة أكثر تقدماً حيث بإمكانه حجز جسيمات أبعادها تصل إلى ٠.٠٠١ ميكرومتر.

الترشيح النانومتري Nanofiltration

الترشيح النانومتري هو تطور في تقانة التناضح العكسي حيث أمكن تصنيع أغشية ترشيح نانومتري تبدي خصائص رفض انتقائية للشوارد الموجودة في الماء، بخلاف أغشية التناضح العكسي التي تزيل كل الشوارد بنسبة مرتفعة. إن أغشية الترشيح النانومتري تحجز بكفاءة عالية جداً الشوارد متعددة التكافؤ (مثل النيكل والكادميوم والكبريتات ..) وتحجز بكفاءة أقل الشوارد أحادية التكافؤ (مثل الصوديوم و البوتاسيوم و الكلورايد).

تستخدم تقانة الترشيح النانومتري عندما يراد الحصول على إزالة معتدلة للأملاح من الماء، وبالتالي ضغط التشغيل اللازم يكون منخفض وكذلك استهلاك الطاقة.

التناضح العكسي Reverse Osmosis

يرتكز على تطبيق في الجهة العليا من المحلول ضغط هيدروديناميكي أعلى من الضغط الإسموزي للمحلول المائي. يمكننا نتيجة لتطبيق ضغوط عالية (من ٣٠ إلى ١٠٠ بار) الحصول على محلول راشح Permeat مُكون من ماء نقي بينما تحجز الجزيئات الصغيرة في المحلول المحجوز أو الممسوك

www.islamsc.com

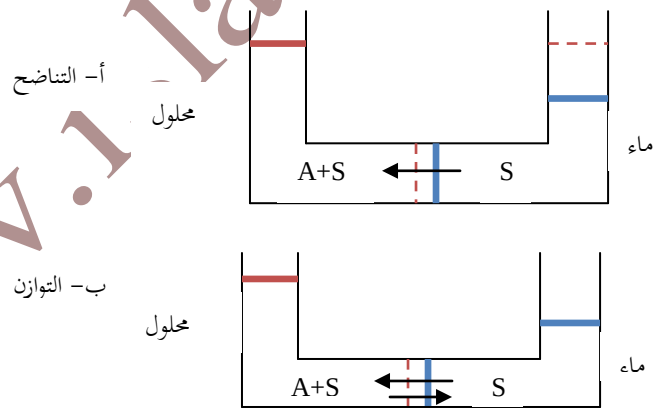
Retentat . إن التناضح العكسي OI يخصُّ الملوحة ذات الكتلة الجزيئية الضعيفة وهذا يُفَرقهُ عن الترشيح فائق الدقة U.F الذي من أجله تكون أبعاد الجزيئات أكبر.

يُطبق التناضح العكسي لإزالة العديد من الشوارد من المياه والمحاليل.

٤-١٠-١- ظاهرة التناضح

التناضح هو تحويل لحظي للماء الذي نلاحظه عندما نضع محلول مائي A+S بتماس مع مذيب نقي S بوساطة غشاء ذي نفوذية انتقائية يترك (الماء) كمذيب فقط ليمر. ويتم تساوي التركيز بين الحجرتين بفضل انتقال الماء من المحلول الممدد (الماء النقي) إلى المحلول الأكثر تركيزاً كما في الشكل (٤-١٨). و يترجم انتقال الماء بظهور فارق في المستوى الهيدروستاتيكي بين الحجرتين يزداد مع الزمن ليصل إلى قيمة حدية يثبت عندها تُدعى الضغط الإسموزي للمحلول (π).

يمكن عكس جهة جريان الماء من المحلول ذي التركيز العالي إلى الماء النقي عن طريق تطبيق ضغط على الحجرة ذات المحلول أعلى من الضغط الأسموزي π ، و يحسب π حسب فانت هوف.



الشكل (٤-١٨): ظاهرة التناضح والوصول إلى حالة التوازن.

٤-١٠-٢- قانون فانت هوف

في الحالة العامة يتعلق الضغط الإسموزي للمحلول بفعالية المذيب a_1 وفق العلاقة

www.lamsc.com

$$\pi = -\frac{R.T}{V_{m,1}} \log a_1 = -\frac{R.T}{V_{m,1}} \log \frac{P}{P_s} \quad [1]$$

حيث: π : الضغط الإسموزي (الباسكال = 10^{-5} بار)

R : ثابت الغازات الكاملة (R=8.31 جول . كالفن$^{-١}$. مول$^{-١}$ $joul.K^{-1}.mol^{-1}$)

T : درجة الحرارة المطلقة (كالفن K)

$V_{m,1}$: حجم المول الواحد من المذيب (م^{٣} . مول$^{-١}$ $m^3.mol^{-1}$)

a_1 : فعالية المذيب.

P: ضغط البخار للمحلول

P_s : ضغط البخار للمُذيب (الماء)

في حالة المحاليل الممددة يمكن تشبيه فعالية المذيب a_1 إلى الكسر المولي للمذيب x_1 أي:

(عدد مولات المذيب / مجموع مولات المذاب والمذيب) أي يكتب الضغط الإسموزي بالعلاقة:

$$\pi = -\frac{R.T}{V_{m,1}} \log x_1 = -\frac{R.T}{V_{m,1}} \log(1 - x_2)$$

حيث x_2 الكسر المولي للمُذاب (المعدنية ، الملوحة) الذي يساوي عدد مولات المذاب n_2 على مجموع مولات المذيب من أجل المحلول الممدد لكن عندما تكون x_2 صغيرة يمكننا كتابة

أي تصبح علاقة الضغط الأسموزي

$$\pi = +\frac{R.T}{V_{m,1}} x_2 = \frac{1}{V_{m,1}} R.T \frac{n_2}{n_1 m_2} = \frac{n_2}{V}.R.T = C_2 R.T \Rightarrow \pi = \frac{m_2}{M_2.V} R.T$$

حيث: n_2 : عدد مولات المذاب.

n_1 : عدد مولات المذيب (الماء).

لكن

$V_{m,I}$. n_1=V

www.islamsc.com

حيث V : حجم المحلول = $V_{m,1}$x n_1 مع $V_{m,1}$ حجم المول الاخر.

m_2 : كتلة المذاب ذو الكتلة الجزيئية M_2

C_2: التركيز المولي للملوحة (المذاب) في المحلول

نلاحظ أنه من أجل كتلة منحلة m_2 متساوية فإن الملوحة (المذاب) ذات الكتلة M الأضعف تطبق ضغط أسموزي أعلى من الملوحة (المذاب) ذات الكتلة الجزيئية الأكبر لذلك فالمحاليل التي تعالج بتقنية الترشيح فائق الدقة وحيث الجسيمات المنحلة ذات كتلة مولية

قانون فانت هوف

$$\pi = C_2.R.T = \frac{m_2}{M_2.v} R.T$$

π : الضغط الإسموزي (الباسكال = ١٠ $^{-٥}$ بار).

C_2 :التركيز المولي للمذاب في المحلول.

R :ثابت الغازات العامة 8.314 جول/ مول.كالفن.

T :درجة الحرارة المطلقة (كالفن).

m_2 كتلة المذاب كغ في حجم المحلول V م^{٣} .

M_2 الكتلة الجزيئية للمذاب كغ/ مول.

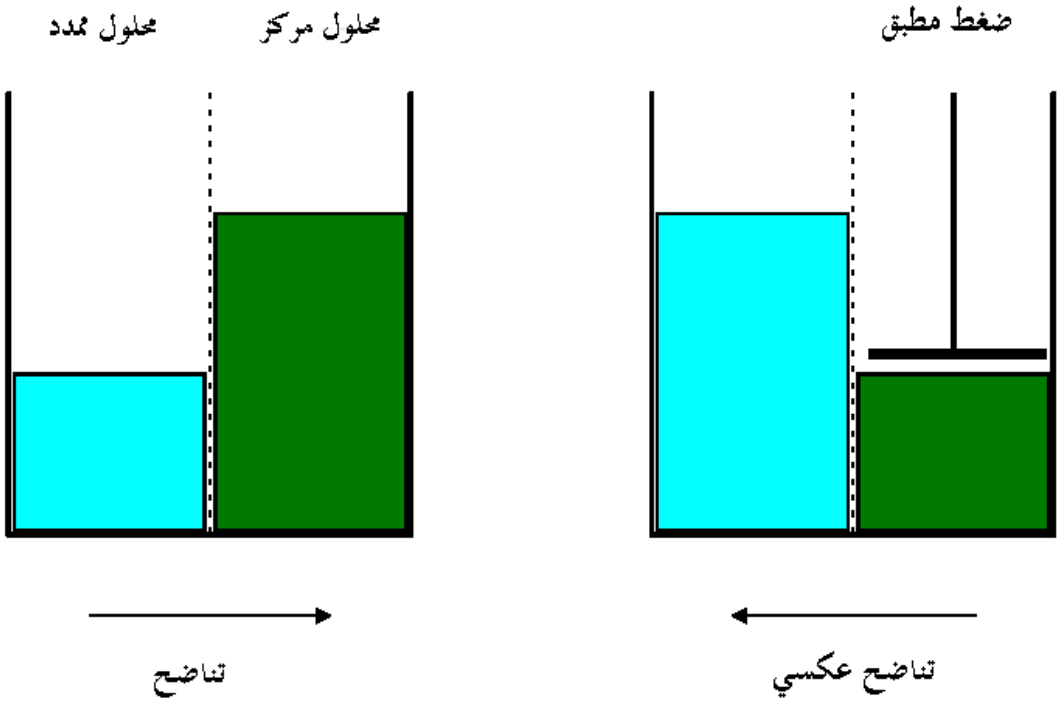
نلاحظ أنه من أجل كتلة منحلة m_2 متساوية والمذيبين مختلفين، يطبق المذاب ذو الكتلة الجزيئية الأصغر ضغط أسموزي أعلى من ذلك الذي يطبقه المذاب الثاني ذو الكتلة الجزيئية الأعلى، لذلك فالمحاليل التي تعالج بتقنية الترشيح فائق الدقة حيث تكون الجسيمات المنحلة ذات كتلة جزيئية كبيرة (جزيئات ضخمة Macromolecules) تشكل ضغط أسموزي ضعيف بعكس المحاليل التي تعالج بتكنولوجيا التناضح العكسي حيث تكون المحاليل المعدة للمعالجة حاوية على مُذاب ذي كتلة جزيئية ضعيفة.

يميل تركيز محلول إلى أن يكون منتظماً: تنتشر جزيئات المادة المذابة والمذيب وتتبعثر بطريقة متجانسة. لنأخذ حوض مفصول إلى حجرتين بوساطة حاجز نفوذ. إذا سكبنا في إحدى الحجرتين ماء نقي وفي الأخرى محلول مائي من سكر القصب مثلاً، يحصل انتشار لجزيئات الماء نحو المحلول السكري، وبالتوازي

www.islamsc.com

تنتشر جزيئات من سكر القصب نحو الماء النقي حتى يتم تجانس المجموع هذه هي ظاهرة التناضح (الحلول)، وإذا أردنا عكس اتجاه جريان الماء فإنه يلزم تطبيق ضغط أعلى من الضغط الأسموزي على المحلول كما في في الشكل (٤-١٩).

.com



الشكل(٤-١٩): آلية عمل التناضح والتناضح العكسي.

إن الحواجز التي تدعى نصف نفوذة، تحوي مسامات بأقطار متغيرة وبالتالي نفوذة لبعض الجزيئات (الأصغر) فقط. هذه حالة الحواجز الخلوية وأيضاً بعض المواد الصناعية كالاغشية السيلللوزية. عند فصل الحجرتين بمثل هذا الجدار نصف النفوذ، تستطيع الجزيئات الصغيرة للمذيب عبور هذا الجدار، نلاحظ ارتفاع المستوى في جهة المحلول السكري، ويزداد ارتفاع المستوى كلما كان المحلول مركزاً أكثر. يطبق إذاً في هذه الحجرة ضغط ما $\prod$ يتناسب مع فرق الارتفاع h يدعى هذا الضغط بالضغط الحلولي (الضغط الاسموزي)، ويعرف أيضاً على أنه الضغط الواجب تطبيقه على المحلول لمنع دخول مذيب نقي مفصول عن المحلول عبر الغشاء نصف النفوذ. إن ظاهرة التناضح (الحلول) مهمة جداً في البيولوجيا، تتصرف الحواجز الخلوية كجدران نصف نفوذة. إذ وضعت خلية حية في ماء نقي يميل الماء النقي للدخول إلى الخلية لتمديد محتواها: يحصل حلول داخلي وانتباج (انتفاخ) الخلية، وهناك خطر انفجارها. بالمقابل إذا غمرت خلية حية في محلول مركز بقوة (زيادة الضغط)، يمر الماء الموجود في الخلية إلى المحلول هذا ما يدعى بـ حلول خارجي متجه نحو المذيب. ويحصل إنقباض بروتوبلاسمي وتتقلص الخلية. لهذا السبب يجب أن تكون السوائل المستخدمة للحقن ضمن الأوردة متساوية الحلول (التناضح)، أي يجب أن يكون تركيز هذه السوائل بحيث يكون الضغط الاسموزي لهذه السوائل مساوياً للضغط الحلولي (الاسموزي) للدم، وكذلك يعتبر الماء المقطر ومهما كان نقياً غير ملائم للاستهلاك الدائم. ينجز قياس الضغط الحلولي (الاسموزي) لمحلول بفضل مقياس الحلول (التناضح كما في الشكل ٤-٢٠) يحبس المحلول في خلية كتيمة، يعلو الخلية أنبوب ذو قطر صغير وتغلق الخلية بجدار نصف نفوذ. يغمر الجهاز في مذيب نقي، يدخل المذيب للخلية عن طريق الغشاء ليمدد المحلول. يرتفع مستوى السائل في الأنبوب الدقيق حتى يوازن عكسياً الضغط المطبق من قبل العمود السائل للضغط التناضحي (الاسموزي).

أي يعطى الضغط الحلولي (الاسموزي) بواحدة مم زئبق بالعلاقة.

$$\pi = h.\frac{\rho}{\rho Hg} = h\frac{\rho}{13.6}$$

١- أنبوب شعري، ٢-مذيب نقي، ٣-جدار نصف منفذ، ٤-المحلول.

www.islamsc.com

الشكل ٤–٢٠: مقياس التناضح.

أظهر العالم فانت هوف vant hoff تبعية ارتفاع الضغط الحلولي (الاسموزي) في محلول لتركيز هذا المحلول، أي لعدد المولات الموجودة في واحدة الحجم n/v، كما يرتفع الضغط الحلولي مع زيادة درجة الحرارة المطلقةT.

$$\pi = k.\frac{n}{v}.T$$

بالفعل تشابه هذه العلاقة قانون الغازات الكاملة، يساوي الثابت k لثابت الغازات الكاملة R.

$$\pi.v = n.R.T$$

بمعنى آخر يطبق محلول ذو تركيز مولي حجمي مساوي ل ١مول/ل بدرجة حرارة ٠°م، ضغط حلولي (اسموزي) قيمته ٢٢.٤ مساوية للضغط الذي يطبقه ١ مول غاز بنفس درجة الحرارة وإذا وضع في وعاء بحجم ١ لتر

$$\pi = \frac{n.R.T}{V} = \frac{1\times 0.082\times 273}{1} = 22.4\ atm \Rightarrow \pi = 2270\ kpa$$

هذا يطابق للضغط المطبق من قبل عمود ماء بارتفاع ٢٣١ متر

مع ذلك لا يطبق هذا القانون إلا من أجل محاليل ممددة. في حالة المحاليل الالكتروليتية يطبق هذا القانون، لكن n توافق عندها إلى العدد الكلي للجزيئات والشوارد في المحلول وليس فقط عدد الجزيئات.

– تطبيق عددي :

المشكلة الفنية الأساسية هي الحصول على حواجز مقاومة ونصف نفوذة بشكل جيد. لا تستطيع الجزيئات الضخمة عبور الأغشية الشائعة الاستعمال، لكن تنقص فعالية الغشاء مع أبعاد جسميات المذاب.

في معالجة المياه نستخدم التناضح العكسي، بالفعل بتطبيق ضغط أعلى من الضغط الحلولي (الاسموزي) على محلول يمكننا إرغام المذيب على ترك المحلول، ويحصل جريان لماء نقي ، وتحجز الأملاح والجزيئات العضوية بوساطة الغشاء، تدعى هذه الطريقة أحياناً بالترشيح العالي وهو يوافق نفس الظاهرة لكن الغشاء المستخدم يسمح بمرور جزيئات الشوارد و لا يوقف إلا الجزيئات الكبيرة.

عملياً الضغط المطبق لتحقيق فوق الترشيح أصغر من الضغط اللازم لتحقيق التناضح العكسي. يسمح فوق الترشيح باسترجاع سوائل من بعض عمليات التضيع.

مثال :

ليكن ماء البحر الحاوي على التركيزات المولية الحجمية المتوسطة التالية:

www.islamsc.com

$Na^{+} = 0.48mol/l$ $Mg^{+2} = 0.055mol/l$ $Ca^{+2} = 0.0105mol/l$

$K^{+} = 0.005mol/l$ $Cl^{-} = 0.560mol/l$ $SO_4^{-2} = 0.029mol/l$

احسب قيمة الضغط الأصغري اللازم تطبيقة لتحلية ماء البحر هذا بدرجة ٢٠م

الحل :

لحسب التركيز الكلي للشوارد في ماء البحر C

$$c=0.048+0.055+0.0105+0.005+0.560+0.029= 1.14mol/l$$

-حساب الضغط الحلولي (الاسموزي) $\prod$

$$\pi = \frac{n.R.T}{V} = C.R.T = (1.14)(0.082)(273+20)$$

$$= 27.4atm = 2780k.Pasc$$ (كيلو باسكال)

نظرياً تحلية ماء البحر تتطلب تطبيق ضغط أعلى بقليل من قيمة الضغط الحلولي (الاسموزي) لكن عملياً وللحصول على تدفق ماء معالج لا يستهان به يلزم تطبيق ضغط أعلى بكثير.

٤-١٠-٣- قانون فانت هوف المعدل

عند معالجة محاليل إلكتروليتية بتكنولوجيا التناضح العكسي يجب مضاعفة العلاقة الأخيرة بعدد التفكك i أي

$$\pi = i \cdot C_{2m} \cdot R.T$$

إن قيمة i=2 في محلول كلور الصوديوم Na cl ، أما في محلول كلور المغنزيوم $Mg\ cl_2$ فتكون قيمة i مساوية إلى ٣ وهكذا.

تطبيق عددي

احسب الضغط الإسموزي لثلاثة محاليل غير إلكتروليتية عند درجة حرارة 27 c°

المحلول الأول بتركيز ١٢٠ غ/ل من مركب ذي كتلة جزيئية ٥٠٠ غ/مول

المحلول الثاني بتركيز ١٢٠ غ/ل من مركب ذي كتلة جزيئية ٥٠٠٠ غ/مول

المحلول الثالث بتركيز ١٢٠ غ/ل من مركب ذي كتلة جزيئية ٥٠٠٠٠ غ/مول

الحل

www.islamsc.com

بما أن المحاليل غير إلكتروليتية لذلك عدد التفكك i يساوي الواحد لنحول المعطيات إلى واحدات الجملة العالمية S.I

$T = 27+273 = 300\ K$ $C_s = 120\ g/l = 120\ kg/m^3$ $R = 9.314\ J/mol.k$

من أجل المحلول الأول $M_1 = 500\ gm/mol = 500.10^{-3} kg/mol$

$$\pi = \frac{120}{500\times10^{-3}} \times 8.314 \times 300 \approx 6\times10^5\ pascal = 6bar$$

من أجل المحلول الثاني $M_2 = 5000\ gm/mol = 5000.10^{-3} kg/mol$

$$\pi = \frac{120}{5000\times10^{-3}} \times 8.314 \times 300 \approx 0.6\times10^5\ pascal = 0.6bar$$

من أجل المحلول الثالث $M_3 = 50000\ gm/mol = 50000.10^{-3} kg/mol$

$$\pi = \frac{120}{50000\times10^{-3}} \times 8.314 \times 300 \approx 0.06\times10^5\ pascal = 0.06bar$$

٤-١٠-٤- تصنيف أغشية الترشيح

يعرف الغشاء بأنه حاجز انتقائي بين طورين متجانسين. نميز من ناحية التكوين بين نوعين من أغشية الترشيح:

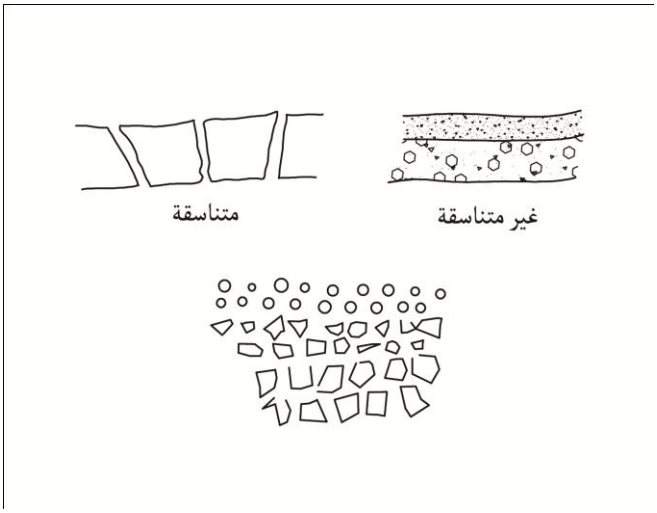
الأغشية المتناسقة symetrique

تتألف هذه الأغشية من طبقة واحدة ذات تكوين ومسامات متماثلة وتؤمن هذه الطبقة عملية الفصل والمقاومة الميكانيكية للضغط المطبق في آن معاً، كما في الشكل (٤-٢١) لذلك فسماكة هذه الطبقة ذات المسامات الدقيقة كبيرة نسبياً لا تؤمن تدفق ماء راشح عال في واحدة السطح.

الأغشية اللامتناسقة Asymetrique

تتكون هذه الأغشية من أكثر من طبقة. الطبقة الأولى ذات مسامية دقيقة تؤمن الفصل وسماكتها من ٠.١ حتى ١.٥ ميكرومتر، و تستند هذه الطبقة على طبقة ثانية ذات مسامية أكبر وسماكة كبيرة ١٠٠ – ٢٠٠ ميكرومتر ، والطبقة الثانية هذه ليس لها أي دور في عملية الفصل بل تؤمن فقط المقاومة الميكانيكية للضغط المطبق.

www.islamsc.com



الشكل(٤- 21): الأغشية المتناسقة والامتناسقة.

أما من ناحية طبيعة مادة الأغشية فنميز بين:

الأغشية العضوية organique membranes

تتكون هذه الأغشية من مادة عضوية كالسيللوز أو البوليمير (بولي أميد، بولي كربونات)، هذه الأغشية لا تتحمل ضغوط عالية ولا درجات حرارة عالية وتحملها للـ PH المتطرف ضعيف، كما أنها لا تسمح عملياً بالغسيل الارتدادي.

الأغشية اللاعضوية Nonorganique membranes

الأغشية غير عضوية ذات تكوين لا متناسق وتتألف غالباً من طبقتين الأولى تمثل الجلد السطحي الموضوع على دعامة ذات ثقوب غير متناظرة والطبقة الفعالة في الفصل (أي الجلد السطحي) يمكن أن تكون من أكسيد الزركونيوم Zr والطبقة الدعامة من الكربون أو السيراميك. تتميز الأغشية غير العضوية بمقاومتها للعوامل الكيميائية والمحاليل الأصلية كما أن مدة حياتها العملية أطول من الأغشية العضوية لكن أسعارها أعلى أيضاً.

٤-١٠-٥- أشكال النماذج الحاوية للأغشية

١. **النموذج المستوي ذو الجريان المتوازي** Module plane a circulation parallel

www.islamsc.com

يعتبر هذا النموذج المستوي من أبسط وأقدم نماذج تقنيات الأغشية ذات الجريان المماسي استخدم النموذج المستوي ذو الجريان المتوازي في البداية لتحقيق التناضح العكسي بينما يستخدم حالياً لتحقيق الترشيح الدقيق والترشيح فائق الدقة.

الشكل ٤-٢٢:.

٢. نموذج مستوي ذو جريان شعاعي:

يتميز هذا النموذج عن النموذج السابق بالشكل الهندسي للصفائح الحاملة للأغشية ذات الشكل الاهليلجي وتحتوي هذه الصفائح على خنادق ذات شكل دوراني.

الشكل ٤-٢٣: مقياس التناضح.

٣. النموذج الأنبوبي:

يتكون هذا النموذج من أنابيب مفرغة مسامية، قطر الأنبوب يتراوح بين عدة مليمترات وعدة سنتيمترات يثبت على هذه الأنابيب طبقة فعالة في عملية الفصل يمكن أن تكون الطبقة الفعالة هذه إما داخل الأنبوب أو على محيطه الخارجي إن مساحة التبادل المقدمة في واحدة الحجم من هذه الأغشية ليست كبيرة وتتطلب هذه النماذج استخدام عدد كبير من الوصلات لذلك فهي مكلفة اقتصادياً إلا أنها تتميز بسهولة التنظيف لذلك يمكن استخدامها لمعالجة محاليل عكرة أو ذات تركيز عالي من الجزيئات الضخمة.

الشكل ٤-٢٤: مقياس التناضح.

٤. النموذج اللولبي الملفوف:

يلتف في هذا النموذج الغشاء الفعال لولبياً حول دعامة مرنة يدخل الماء المطلوب معالجته أحد أطراف لفة ويمر محورياً تحت تأثير الضغط عبر الغشاء ويجمع الماء الراشح عبر الغشاء بوساطة دعامة أسفنجية ليصل إلى أنبوب مركزي ويخرج منه يتميز هذا النموذج بتقديم مساحة تبادل كبيرة في واحدة الحجم إلا

www.islamsc.com

أن هذا النموذج صعب التنظيف لذا فلا يمكن استخدامه لمعالجة المحاليل المرتفعة العكارة أو ذات تركيز عالي بالجزيئات الضخمة غالباً ما يستخدم لإنجاز التناضح العكسي.

الشكل ٤-٢٥: مقياس التناضح.

٥. النموذج المتعدد الأقنية:

في هذا النموذج عناصر الترشيح ذات طبيعة غير عضوية وسطح التبادل المقدم في واحدة الحجم كبير مقارنة مع النماذج الأنبوبية وتفضل الأقنية المتوازية ذات الأقطار الصغيرة كما أن هذا النموذج يتميز بسهولة التنظيف.

الشكل ٤-٢٦: مقياس التناضح.

٤-١٠-٦-آليات نقل المادة في التكنولوجيا ذات الأغشية_matere_transfert

لوصف نقل المادة عبر الأغشية نصف المنفذة ولتفسير انتقائية هذه الأغشية يُعتمد على آليتين: آلية الجريان الشعري ecoulment capellare – وآلية الانحلال – الانتشار Solution-diffusion.

نقبل بشكل عام أنه من أجل الترشيح الدقيق M.F والترشيح فائق الدقة U.F يتم تحقيق الفصل تبعاً لأبعاد الجسيمات أو لكتلتها الجزيئية، أي وفق آلية الجريان الشعري، بيد أن الآلية المسيطرة في حالة التناضح العكسي O.I هي الانحلالية – الانتشار.

٤-١٠-٦-١-آلية الجريان الشعري

أ- التدفق الواحدي للمذيب

www.islamsc.com

يعتبر أغلب الباحثين أن أغشية الترشيح فائق الدقة تعمل كمنخل للجسيمات تفرز هذه الجسيمات حسب أبعادها (أقطار أو كتل جزيئية) أي أن الجسيمات التي أبعادها أكثر من قيمة محددة تدعى حدّ الفصل لا تستطيع عبور الغشاء بعكس الجسيمات التي أبعادها أصغر.

يُشبه غشاء الترشيح فائق الدقة إلى حزمة من المسامات المتماثلة نصف قطر المسام الواحد r وتحتوي واحدة المسطح من الغشاء على N مسام.

يتبع تدفق المذيب لنصف قطر المسام ولعدد المسامات N (الذي يتبع لمسامية الغشاء ζ حيث ζ = حجم الفجوات / الحجم الكلي) ولشكل المسامات المتعرجة τ التي هي نسبة طول الأنبوب إلى سماكة الغشاء حيث الأنبوب غير مستقيم.

يحسب تدفق المذيب في واحدة السطح من الغشاء من علاقة بوازوي التالية:

$$J_1 = N \times \frac{\pi \times r^4}{8\mu} \times \frac{\Delta P}{\Delta X}$$

حيث μ : اللزوجة الحركية للمذيب (μ اللزوجة الحركية للمحلول – باسكال.ثانية)

Δx : سماكة الغشاء

وبالتعبير عن عدد المسام في واحدة السطح من الغشاء N تبعاً للعوامل المميزة لنسيج الغشاء، أي

$$N = \frac{\xi}{\pi . r^2 \times \tau}$$

$$J_1 = \frac{\xi \times r^2}{8\mu . \tau} \times \frac{\Delta P}{\Delta X} = \frac{\beta}{\mu} \times \frac{\Delta P}{\Delta X}$$

B : عامل نفاذية الغشاء (م^2)

J_1 : تدفق المذيب في واحدة السطح من الغشاء

نلاحظ: أن تدفق المذيب يتناسب طرداً مع فرق الضغط ΔP ويتناسب عكساً مع لزوجة المذيب.

www.islamsc.com

ب – التدفق الواحدي للمُذاب

نشير بالرمز σ للجزء من المحلول الذي عبر الغشاء بوساطة المسامات أي ١ ′σ ′0 حيث σ يميز توزع أقطار المسامات في الغشاء

إذا علمنا σ يمكن حساب تدفق الملوحة في واحدة السطح من الغشاء J_2 ببساطة من العلاقة التالية:

$$J_2 = \sigma \cdot J_1 \cdot C_O = \sigma(\frac{\beta}{\mu} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta X})C_O$$

لكن $\sigma \cdot C_O = C_P$ أي

$$J_2 = Cp \cdot J_1$$

حيث C_p : تركيز الملوحة في المحلول العابر (الراشح)

C_O : تركيز الملوحة في المحلول المحجوز

ج – معدل الاحتجاز

لدينا

$$J_2 = \sigma \cdot J_1 \cdot C_O \Rightarrow \sigma = \frac{J_2}{J_1} \cdot \frac{1}{C_O} = \frac{C_P}{C_O}$$

إن معدل الاحتجاز T_R يساوي ١−σ إذاً

$$T_R = 1 - \frac{C_P}{C_O}$$

www.islamsc.com

إن معدل الاحتجاز T_R مستقل عن الضغط المطبق ويتبع بشكل أساسي لتوزيع أبعاد مسامات الغشاء ولأبعاد المسامات المعدة للحجز وهذا ما يميز آلية الجريان الشعري في الترشيح فائق الدقة عن آلية الإنحلال – الانتشار في التناصح العكسي حيث معدل الاحتجاز في الآلية الأخيرة لا يتعلق بتوزع أبعاد مسامات غشاء التناضح العكسي.

عملياً نلاحظ في عملية الترشيح فائق الدقة انخفاض في نسبة الاحتجاز T_R عندما يزداد الضغط (تشوه مطاطي).

٤-١٠-٦-١-آلية الانحلال – الانتشار

حسب نظرية الانحلالية – الانتشار فإن المذيب (الماء) وجزء من مكونات المحلول ينحل ضمن سماكة الغشاء الفعال وينتشر عبر الغشاء بحركية تتبع تتدارج الضغط وللضغط الاسموزي ولتدارج التركيز.

عند تصنيع أغشية التناضح العكسي يجب البحث عن مواد أولية تتمتع بإلفة ضعيفة تجاه المذاب المطلوب حجزه وبخواص مميهة جيدة تجاه باقي مكونات المحلول وبشكل خاص تجاه المذيب (الماء).

أ- التدفق الواحدي للمذيب

يعطى التدفق المذيب في واحدة السطح من الغشاء بالعلاقة التالية:

$$J_1 = \frac{D_1 \cdot \overline{C}_1 \cdot V_1}{R \cdot T} \cdot \frac{\Delta P - \Delta \pi}{\Delta X}$$

حيث D_1 : عامل انتشار المذيب ضمن الغشاء

$\overline{C_1}$: التركيز الوسطي للمذيب ضمن الغشاء

V_1 : حجم المول الواحد من المذيب

ΔX : سماكة الغشاء

$\Delta \pi$: فرق الضغط الاسموزي بين المحلول المحجوز والمحلول العابر $\Delta\pi=\pi_{(R)}-\pi_{(T)}$

www.islamsc.com

ΔP-$\Delta\pi$ الضغط الفعال = الضغط الهيدروستاتيكي – فارق الضغط الاسموزي

عندما لا تكون أية خاصة من الخواص السابقة عدا الضغط الفعال متعلقة بالضغط يمكن أن نكتب:

$$J_1 = K_1' \cdot (\Delta P - \Delta X)$$

حيث K_1 : ثابت يدعى عامل نفاذية الغشاء تجاه المذيب يعبر عن K_1 بواحدة (ليتر/يوم . م^2 . بار) وتتمتع أغشية التناضح العكسي المستخدمة تجارياً بعامل نفاذية قريب من ١٠ ليتر/يوم . م^2 . بار تجاه الماء.

أما تحديد قيمة K_1 مخبرياً فيتم بإجراء تجارب على ماء نقي، أي $(\Delta\pi=0)$.

يتناسب تدفق المذيب مع الضغط الفعال بيد أن نفاذية الغشاء تجاه المذيب K_1 تتناقص مع زيادة هذا الضغط الفعال (ظاهرة ارتصاص الغشاء).

من ناحية أخرى يزداد عامل نفاذية الغشاء K_1 تجاه المذيب مع ارتفاع درجة الحرارة وفق العلاقة التالية

$$K_1' = K_1 \cdot e^{-\frac{E}{R.T}}$$

حيث E طاقة الفعّالية التي تساوي حوالي ٤ – ٦ كيلو كالوري/ المول.

ب– التدفق الواحدي للمُذاب:

يعطى تدفق المذاب في واحدة السطح من الغشاء بالعلاقة التالية التي تدعى قانون الانتشار عبر الغشاء.

$$J_2 = K_2 \cdot (C_R - C_\rho)$$

www.islamsc.com

حيث: K_2 : عامل نفاذية الغشاء تجاه المذاب

C_R : تركيز المذاب في المحلول المحجوز

C_p : تركيز المذاب في المحلول العابر

إن K_2 تتناسب عكساً مع السماكة الفعّالة للغشاء تبين العلاقة الأخيرة التأثير الضار لتركيز المذاب في المحلول المحجوز C_R حيث أن الغاية من التناضح العكسي الحفاظ على تدفق مُذاب أصغر ما يمكن.

نظرياً تدفق المذاب مستقل عن الضغط الفعال لكن عملياً تزداد قيمة K_2 قليلاً مع زيادة الضغط الفعال.

www.islamsc.com

٤-١٠-٧-تدفق الماء الراشح عبر الأغشية :

إذا رمزنا بـ $\Delta\pi$ لفرق الضغط الاسموزي بين المحلول المركز والمحلول الفقير بالملوحة و Pf لضغط التشغيل، فيكون الضغط الفعال $P = Pf - \Delta\pi$ ويصبح تدفق الماء العابر للغشاء ذي السطح S :

$$Q= K.S.P$$

يتبع العامل K لنوع الغشاء، ويمثل التدفق في واحدة السطح من الغشاء وفي واحدة الضغط الفعال. ومن أجل غشاء معطى وضغط تشغيل محدد، يزداد تدفق الرشاحة مع انخفاض ملوحة الماء الخام.

مع بعض الأغشية وتحت ضغوط كافية، إن تدفق إنتاج الماء الراشح من ماء البحر الذي أزيلت منه الملوحة بنسبة ٩٨ % يتراوح بين ٣٠٠ – ٤٠٠ لتر / م^2 في اليوم، ومع أغشية أخرى يصل التدفق إلى ٥٠٠ لتر/ م^2 في اليوم، أما عند تحلية ماء صليبي ذي ملوحة ٥ غرام /لتر فإن تدفق الماء المزال الملوحة بنسبة ٩٦ % يصبح بين ١٢٠٠– ١٣٥٠ لتر/ م^2 في اليوم. ولقد تم الحصول بفضل أغشية ديناميكية في الولايات المتحدة على تدفق رشاحة ١٠٠٠٠ ل/ م^2 في اليوم انطلاقاً من ماء ذي ملوحة ضعيفة. و يزداد تدفق الرشاحة مع ارتفاع درجة الحرارة.

٤-١٠-٧-استهلاك الطاقة في التناضح العكسي :

يتعلق استهلاك الطاقة في التناضح العكسي بمعدل التحويل Y (Y نسبة تدفق الماء الراشح إلى تدفق الماء الداخل)، وبضغط التشغيل، وأيضاً بمردود المضخات المستخدمة لتأمين الضغط اللازم، وفق العلاقة التالية:

$$W= P/36.7.Y.S$$

حيث P : ضغط التشغيل(بار).

Y : معدل التحويل.

S : مردود المضخات.

من أجل تدفقات صغيرة بحدود عدة أمتار مكعبة في اليوم، مردود المضخات أدنى من ٥٠ % ويصل استهلاك الطاقة إلى ١٥ ك . و . سا / م٣ من الماء المحلى الناتج عن معالجة ماء البحر. لكن من أجل تدفقات كبيرة ، ومع مضخات ذات مردود أفضل، يكون استهلاك الطاقة بين ٥ – ٨ ك . و . سا / م٣ من الماء المحلى الناتج عن معالجة ماء البحر. إذا لزم نقل مصدر الطاقة الميكانيكية اللازمة لإدارة المضخات فإن النقل يكون سهلاً، و بهذا الشكل يمكن إشراك واحدة متنقلة للتناضح العكسي منصوبة على مقطورة مع محرك ديزل.

في أغلب الأحيان يخفف الضغط في دارة الماء المحلى عبر سكر ، وهذا يمثل ضياع طاقة . يمكن بالفعل التفكير بتخفيف ضغط المائع عند الضغط العالي عبر عنفة . إذا أسمينا ضياع الحمولة في نموذج التناضح العكسي و مردود العنفة ، فالطاقة المستعادة تساوي إلى

$$W= P/36.7.Y.S$$

وفي حالة استرجاع هذه الطاقة تكون الطاقة المستهلكة فعلياً

$$W= P/36.7.Y.S$$

يجب أن يؤخذ القرار باعتماد عنفة بعد مقارنة التكاليف المالية السنوية العائدة لهذا الأستثمار التكميلي ، وقيمة الطاقة المستعادة . يبين الشكل ميزات عنفة طورت من قبل شركة جوينارد الفرنسية ، والتي تسمح باستعادة حوالي ٤٣% من الطاقة (استطاعة العنفة/استطاعة المضخة = ٢٢٧/٣٠٩ = ٠.٤٣) .

تطبيق عددي

www.islamsc.com

احسب تدفق المذيب الناتج عند استخدام غشاء تناضح عكسي سطحه /١٠/ م^{٢} علماً أن عامل نفاذية الغشاء تجاه المذيب ١٠ ليتر/ يوم . م^{٢} .بار من أجل ضغط مطبق قدره $\Delta P=30$ bar وفرق الضغط الاسموزي بين المحلول المحجوز والمحلول العابر $\pi=20$ bar

الحل :

نلاحظ تجانس في واحدات المعطيات إذن لنطبّق العلاقة:

$$J_1 = K_1 \cdot (\Delta\rho - \Delta\pi) = 10 \cdot (30 - 20) = 100 litre / m^2 \cdot jour$$

فتدفق المحلول العابر الممكن الحصول عليه بفضل المساحة الكلية للغشاء

$$Q_1 = 10 \times J_1 = 10 \cdot 100 = 1000 l / jour$$

تطبيق عددي ٢:

يراد معالجة مياه ذات تدفق $0.3\ m^3/s$ و تركيز $TDS = 2600\ mg/l$ من خلال جهاز للتناضح العكسي المساحة الإجمالية لأغشيته $34250\ m^2$ ، ميزات هذه الأغشية أن معامل نفاذية الماء $1.8 * 10^{-9}\ s/m$ و معامل نفاذية الأملاح $1.2 * 10^{-6}\ m/s$ فإذا علمت أن صافي الضغط المطبق $40\ atm$ و أن التركيز الاعظمي المسموح به في المياه الراشحة هو $450\ mg/l$ المطلوب حساب تدفق المياه الراشحة و تدفق المياه المالحة.

الحل :

$$\Delta P - \Delta\pi = 40\ atm = 40 * 101.325 = 4053\ Kpa = 4053 .10^3\ kg/m.s^2$$

الضغط الصافي المطبق

$w = 1.8 . 10^{-9}\ s/m$ معامل نفاذية الماء

www.islamsc.com

معدل تدفق المياه الراشحة في واحدة المساحة من $Fw = w.(\Delta P - \Delta\pi)$

الغشاء

$$Fw = 1.8 \cdot 10^{-9} * 4053.10^{3} = 7.3 \cdot 10^{-3} \ kg/m^2.s$$

$$Fw = 7.3 \cdot 10^{-3} * 10^{-3} = 7.3 \cdot 10^{-6} \ m^3/m^2.s$$

تدفق المياه الراشحة $Qp = Fw \cdot A = 7.3 \cdot 10^{-6} * 34250$

$$= 0.25 \ m^3/.s$$

يكون تدفق المياه المالحة

$$0.3 - 0.25 = 0.05 \ m^3/.s$$

نسبة المياه المالحة من تدفق التغذية $0.05/0.3 = 16.6\ \%$

نحدد تركيز TDS في المياه الراشحة

تركيز TDS في مياه التغذية $Cf = 2600 \ mg/l = 2.6 \ kg/m^3$

معدل تدفق الأملاح في واحدة المساحة من الغشاء $Fs = S .(Cf - Cp)$

تركيز TDS في المياه الراشحة Cp

$$Qp.Cp = Fs .A = S (Cf - Cp).A$$

$$CP = \frac{S .Cf .A}{Qp + S.A} = \frac{1.2 .10^{-6}(m/s) * 2.6(kg/m^3) * 34250(m^2)}{0.25(m^3/s) + 1.2 .10^{-6}(m/s) * 34250(m^2)}$$

$$Cp = 0.367 \ kg/m^3$$

$= 367 \ mg/l$ و هو أقل من التركيز المسموح $450 \ mg/l$

قبل إكمال الحل نجري المحاكاة التالية لنبين علاقة بعض العوامل المؤثرة في التناضح ببعضها

١- بتغيير قيمة الضغط الصافي و المحافظة على مساحة الأغشية و باقي العوامل فإننا نصل إلى النتائج التالية الموضحة في الجدول التالي:

$\Delta P - \Delta\pi$	Cp	Qp
35	411.4209	0.218634

www.islamsc.com

38	383.7341	0.237374
40	367.2576	0.250000
42	352.1377	0.262361
44	338.2136	0.274854
45	331.6564	0.281101

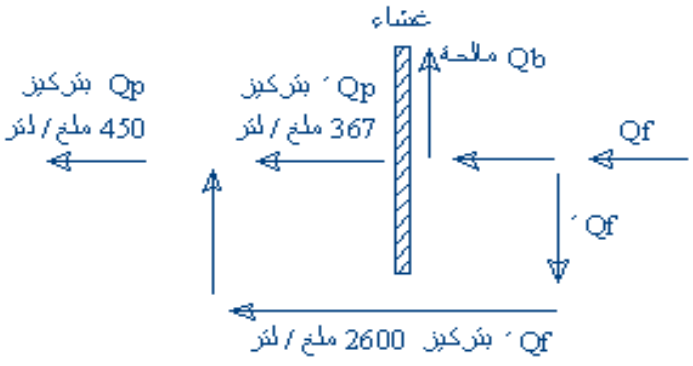
حيث أنه بزيادة الضغط المطبق نحصل على مياه راشحة بتركيز مواد منحلة أقل و على تدفق أكبر للمياه الراشحة

٢- بتغيير قيمة المساحة و الحفاظ على الضغط و باقي العوامل فإن تركيز المواد المنحلة سيبقى ثابتا في المياه الراشحة 367 mg/l وفقط يزداد تدفق المياه الراشحة بزيادة المساحة.

يمكن التقليل من مساحة الأغشية بما يحقق التركيز الأعظمي المسموح في المياه الراشحة 450 mg/l وذلك بمزج جزء من تدفق مياه التغذية مع تدفق المياه الراشحة

$$('Qp + 'Qf)(0.45) = 'Qf (2.6) + 'Qp(0.367) \ldots.(1)$$

$$'Qp + 'Qf = 0.25 \ldots.(2)$$



بحل المعادلتين

$$'Qp = 0.24\ m^3/s$$
$$'Qf = 0.01\ m^3/s$$

وبالتالي تكون المساحة الجديدة للأغشية

$$A = 'Qp / Fw$$
$$= 0.24/(7.3 .10^{-6})$$
$$= 32880\ m^2$$

.islamsc.com

www.islamsc.com